

Diseño e implementación eficiente de la primera impresora 3D multifuncional desarrollada en la UPAO

Efficient design and implementation of the first multifunctional 3D printer developed in UPAO

Mark Peralta Aleman
Diego Arturo Maravi rojas
Mariano Iparraguirre Otiniano
Sixto Ricardo Prado Gardini

Recibido: 21 de marzo de 2019
Aceptado: 05 de abril de 2019

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño, simulación e implementación de la primera impresora 3D multifuncional desarrollada en la UPAO con capacidad de impresión aditiva y 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 como (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.

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.

Descriptores: Fabricación aditiva, Impresora 3D, Automatización, CORE-XY.

ABSTRACT

This paper presents the design, simulation and implementation of the first multifunctional 3D printer developed in the UPAO with additive printing and laser capability, within the framework of a science-based technology development strategy focused on the La Libertad-Peru region. 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

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 rodamientos de lineales que son desplazados por unos motores acoplados a un sistema de transmisión por bandas de sincronización y poleas [5].

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-Perú 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.

MATERIAL Y MÉTODO

Como ya se ha descrito previamente la meta del proyecto es desarrollar la primera impresora 3D multifuncional en la UPAO aplicable a entornos académicos, domésticos y de servicios. El prototipo se implementa por etapas bien diferenciadas pero que al integrarlas permiten obtener un producto eficiente y reprogramable.

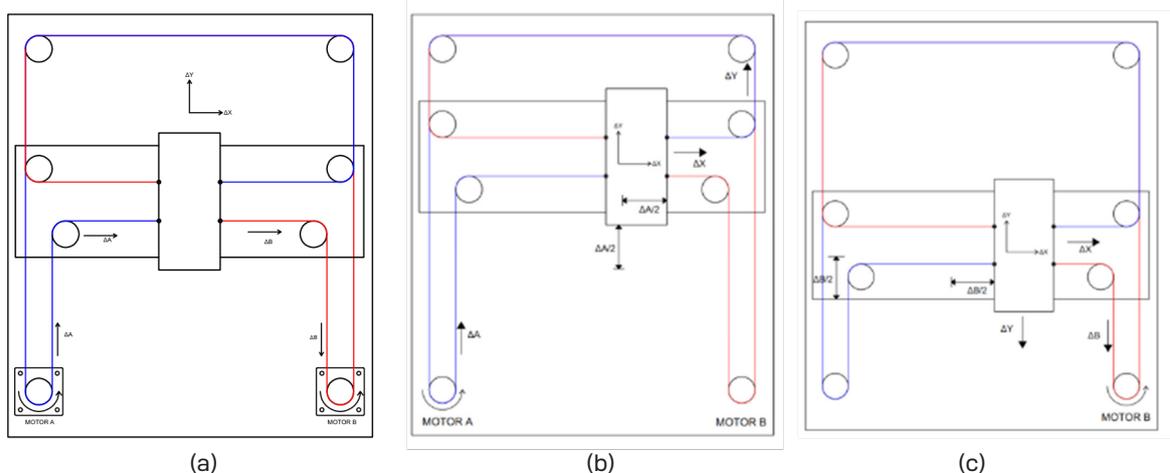


Figura. 1: a) Movimiento Geometría Core XY; b) Motor A en movimiento y motor B parado, c) Motor B en movimiento y motor A parado.

CINEMÁTICA DE LA IMPRESORA 3D CORE XY

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 [6]:

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

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

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. 1b) 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 (Fig 1 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:

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

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:

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

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

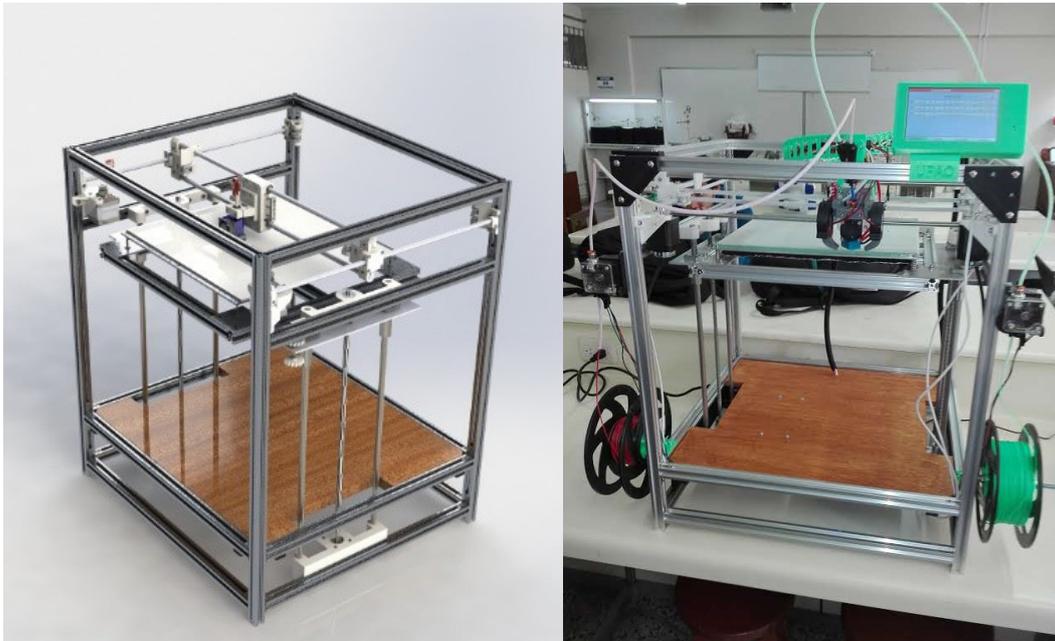


Figura. 2: Impresora 3D construida en este trabajo; modelo CAD e implementación física.

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

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

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.

ESTRUCTURA MECÁNICA DE LA IMPRESORA 3D

El diseño de la impresora 3D desarrollado aquí (Fig 2), tiene como referencia diferentes diseños de impresoras 3D comerciales, como:

- El sistema de movimiento CoreXY se basa del modelo impresora 3D coreXY S.T.E.V.E. diseñada por CompRevTech [7].
- La estructura, plataforma de impresión y eje Z se basan de la Impresora 3D gran formato de Mundo C.N.C. con Arduino [8].
- El carro de herramientas intercambiables se basa en la impresora 3D Hypercube de Tech2C [9].

Algunos elementos de los diseños de referencia no podían ser adquiridos en el entorno local o nacional por lo que se modifican según necesidad: Se reemplaza la polea loca GT2 de 16 dientes por una polea loca GT2 de 20 dientes; rodamiento embridado F603ZZ por una polea loca GT2 lisa. Los resultados de operatividad demuestran que los replazos fueron acertados.

Las características de diseño y estructurales de la impresora 3D FDM (modelado por deposición fundida) Core XY propuesta en este trabajo son: Volumen de impresión: 300mmx300mmx300mm (Largo x Ancho x Alto); Estructura con perfil de aluminio V-Slot 2020; Motor de movimiento tipo paso a paso NEMA 17; Cama caliente de 750W 220Vac; Multiherramienta con un Laser grabador de 5.5W; Doble motor para movimiento en el eje Z; Tarjeta de control de 32bits Duetwifi; Sistema con Doble extrusor y un solo hotend: 1 hotend E3D V6 con Nozzle de 0.4mm con calentador de 40W y 2 extrusores Titan del tipo Bowden; Diámetro de filamento de trabajo 1.75mm.

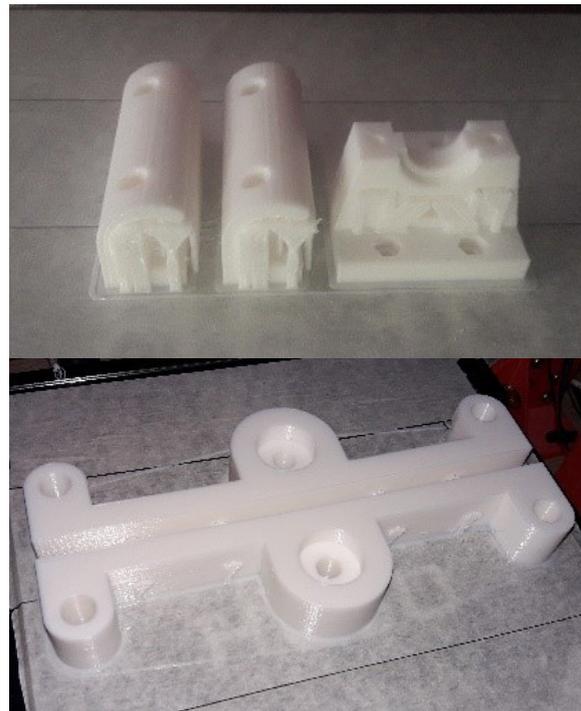


Figura. 3: Piezas impresas en 3D como parte de la Impresora 3D construida en el Proyecto.

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 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 (Fig. 3) 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. 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–.

La estructura de la impresora se implementa con perfiles de aluminio V-SLOT 2020 por su alta resistencia, baja fricción, fácil montaje, resistente a la oxidación y no se necesitan de herramientas de corte (como taladro) o equipos de soldadura para unir las piezas. La estructura se conforma de 18 perfiles de aluminio V-Slot 2020 (Fig. 4): 4 perfiles de 650mm; 8 perfiles de 450mm; 6 perfiles de 500mm. Los perfiles de aluminio se unen mediante Juntas tipo L para perfil V-Slot utilizándose un total de 42 unidades, estas juntas permiten una fácil modificación de su posición dentro de la estructura. Ahora se describe cada uno de los ejes de la Impresora 3D:

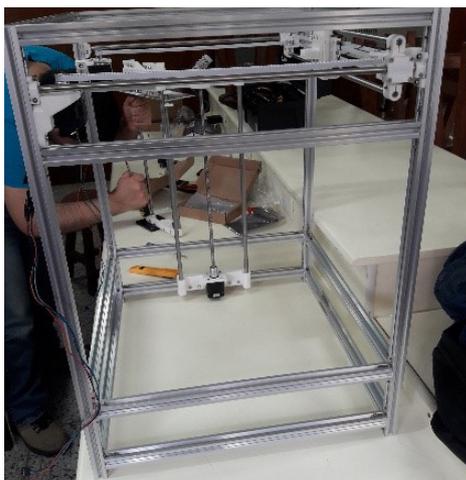


Figura 4. Perfiles de aluminio y elementos de acople usados en la construcción de la Impresora 3D.

Eje x (Fig. 5). Eje sobre el que se desplaza el carro que contiene al extrusor que a su vez funde el filamento para realizar la impresión 3D. El eje se mueve en un plano cartesiano mediante el uso de poleas y rodamientos lineales y esta formado por (Fig. 6):

- **Dos barras de acero inoxidable de 520mm de largo y 8 mm de diámetro.** Las cuales sirven de guía de movimiento y soportes del carro.
- **Dos piezas iguales impresas en 3D que sujetan por los extremos a las dos barras de acero inoxidable previamente mencionadas (Fig.).** A través de un par de poleas permiten el desplazamiento del carro en los ejes X y Y, además en su estructura interna contienen un par rodamientos lineales LM8UU que permiten el movimiento del eje X sobre el eje Y. Usar estos dos rodamientos minimiza el juego que genera el uso de uno solo y con ello mejora el movimiento del eje X.

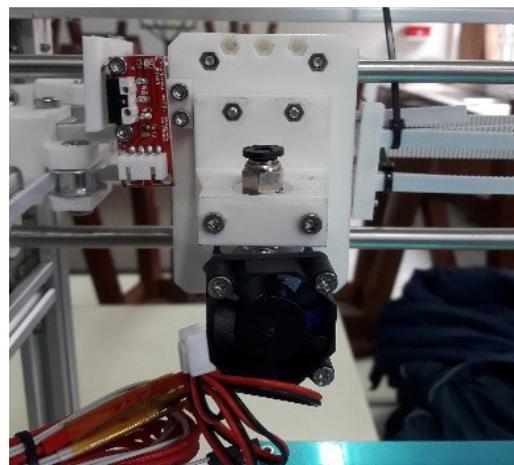
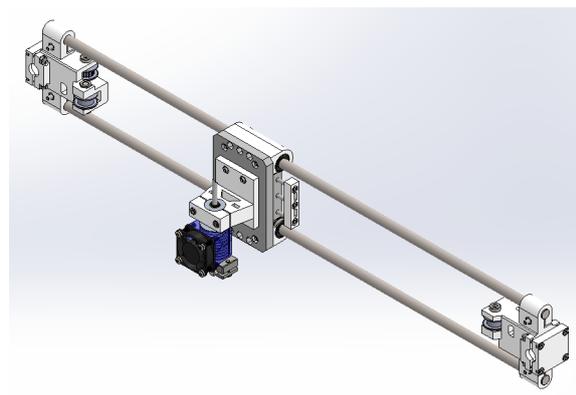


Figura 5. Eje X, simulado e implementado

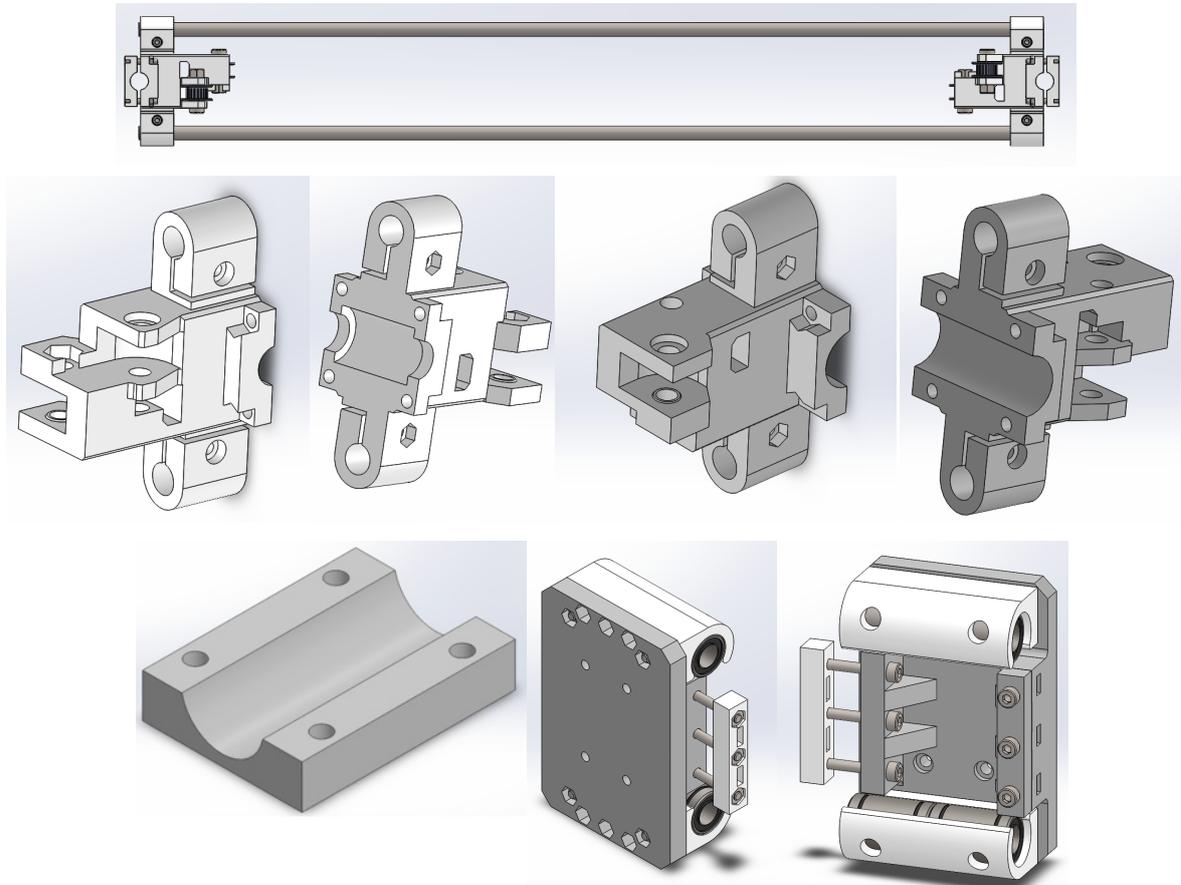


Figura. 6. Diferentes partes del Eje X (simulados en SolidoWork).

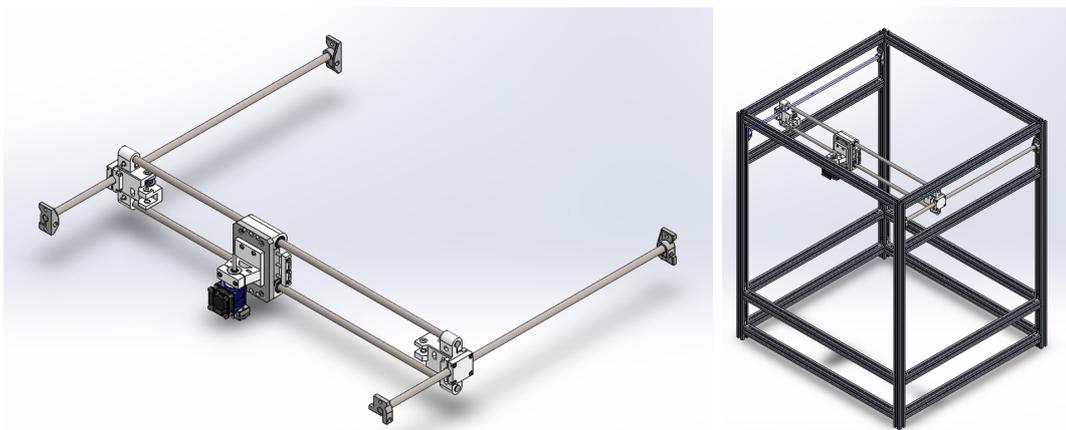


Figura. 7. Eje Y dos barras que soportan al Eje X y ambos ejes contenidos en la estructura general

- **Dos piezas impresas de encaje para los rodamientos LM8UU**, estas piezas están acopladas a las dos anteriores previamente descritas.
- Carro de desplazamiento porta herramienta. **Esta formado por varias piezas impresas y un juego de 4 rodamientos LM8UU** que sujetan y permiten el movimiento del carro en el eje X (Fig.). El carro se diseña tal que permita el intercambio de herramienta, por ejemplo cambiar el extrusor por la herramienta laser.

EjeY. Soporta el peso del cuerpo del eje X y esta formado por (Fig.7):

- **Dos barras de acero inoxidable de 450mm y 8mm de diámetro**, que forman el cuerpo del eje Y.
- **Cuatro rodamientos LM8UU.** Permiten el movimiento lineal sobre el eje Y. Se usa 2 rodamientos por eje.
- **Cuatro piezas impresas**, que acoplan los extremos de las barras del eje Y con la estructura de la impresora 3D.

Eje Z. Mueve la plataforma de impresión (Fig.8) mediante el giro de 2 husillos T8 de 4 hilos (8mm por vuelta) realizado por 2 motores paso a paso ubicados en la parte inferior del eje Z. El eje Z está formado por dos conjuntos de piezas verticales compuestos cada uno por: 2 barras de acero inoxidable de 490mm de 8mm de diámetro, 2 soportes que agarran las 2 barras de acero inoxidable por los extremos de esta, 1 motor paso a paso que es sujetado por el soporte inferior y que mueve el husillo, 1 husillo T8 de 4 hilos, 1 plataforma de movimiento que contiene 2 rodamientos LMKJ10LUU y la tuerca del husillo (la plataforma se mueve en dirección del eje Z mediante el giro del husillo T8 y soporta el peso de la plataforma de impresión). Los rodamientos permiten transmitir el movimiento sin embargo también son generadores de juegos mecánicos es por ello que es importante elegir adecuadamente el tipo y la cantidad de rodamientos a fin de minimizar su efecto negativo.

Plataforma de impresión (ver Fig.8): Base sobre el cual el extrusor deposita el filamento fundido en sucesivas capas formando el objeto en 3D. Está compuesta por 5 perfiles de aluminio V-Slot (3 perfiles de 340mm y 2 de 370mm) unidas por 8 juntas tipo L, 4 platinas que soportaran la plancha de la plataforma de impresión, 1 plancha de aluminio de 320mm x320mm x3.175mm donde se instala la cama caliente, 1 vidrio de 300mm x300mm x3mm (lugar donde , 4 tornillos M3X 40mm y 4 resortes de 30mm(estos permitirán ajustar la altura de la

plataforma en los 4 puntos de apoyo de la plancha de aluminio de manera manual).

Estructura mecánica CoreXY. La estructura CoreXY (Fig. 9) esta compuesta por una serie de mecanismos que interconectan soportes, poleas y los motores que permiten el movimiento sobre los ejes X e Y, generando una morfología que genera un movimiento particular sobre el plano X-Y, denominado geometría CoreXY y cuyos elementos son:

- Dos piezas iguales impresas que contienen 2 poleas cada una para guiar la faja y se ubican en los extremos de la estructura más próximos a los valores máximos de desplazamiento del eje Y.
- Dos piezas obtenidas mediante impresión 3D, que soportan a los dos motores que permiten el movimiento sobre los ejes X y Y, ambas piezas están acopladas a los perfiles de la impresora 3D y sirven de acople a los barras que forman el eje Y.

Carro multifunción. El carro o porta herramienta tiene capacidad para contener dos cabezales (una a la vez), un cabezal permite realizar la impresión 3D y el otro grabar mediante laser (Fig.10).

Cabezal para Impresora 3D. Tiene un sensor Z-Probe BLTOUCH para el calibrado de la primera capa de impresión (ver Sección), ventiladores tipo turbina para una eficiente disipación de calor, diseñándose la estructura de la porta herramienta tal que estos elementos puedan caber de forma correcta

Finales de Carrera. Se usan para el sistema electrónico de la impresora reconozca el inicio del recorrido de los ejes X-Y-Z, los finales de cada eje se los configura por software. Para cada sensor de final de carrera se le imprime un soporte que lo acopla a la estructura de la impresora. Por ejemplo para el eje X se diseñaron 2 piezas; una soporta el sensor sobre el carro porta herramienta y un tope instalado en la barra del eje X que al chocar el carro indica que ha llegado a uno de sus límites mecánicos. Para el sensor sobre el eje Y se imprime una sola pieza que acopla al sensor al correspondiente eje ubicándose al final de esta, de manera que cuando el cuerpo del eje X se desplaza sobre el eje Y y topa con el sensor se determina el valor mínimo de recorrido sobre el eje Y.

Para el sensor asignado al eje Z se diseñaron e imprimieron 3 piezas; una pieza acopla al sensor en la estructura de la impresora y las otras 2 piezas, en forma de engrane unidas por una tuerca, permiten ajustar la altura de la plataforma de impresión y con ello esta última tener un desplazamiento perpendicular al eje Z.

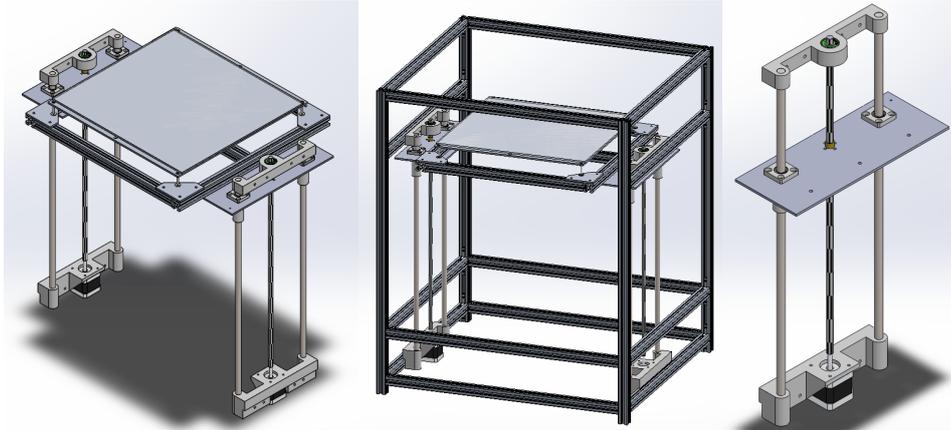


Figura. 8. Eje Z sostiene a la plataforma o base de impresión.

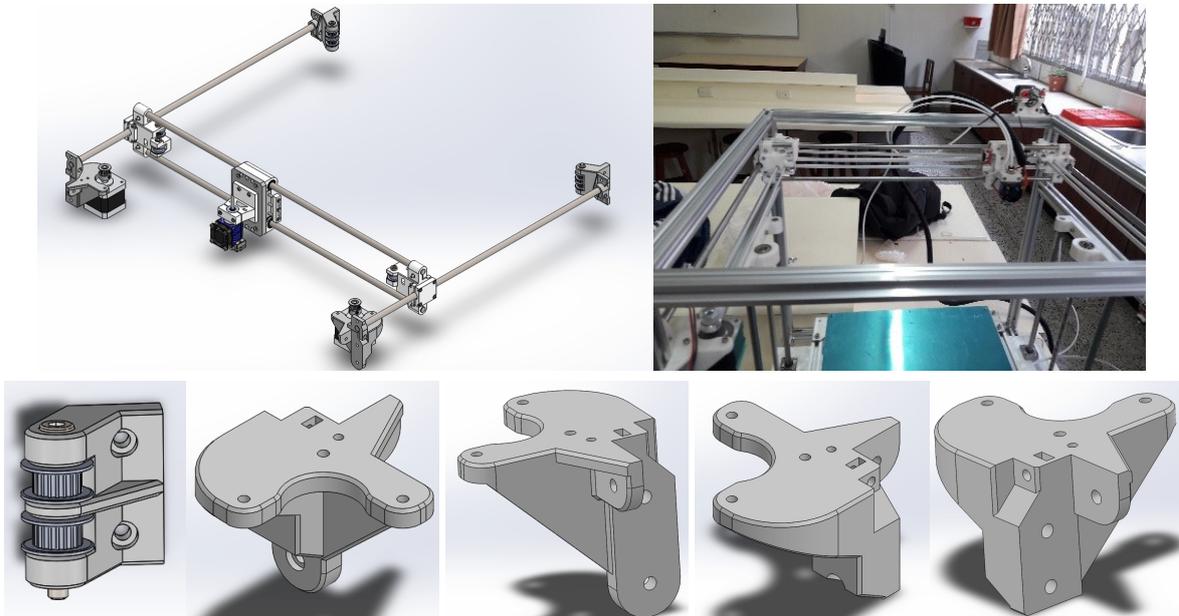


Figura. 9. Estructura mecánica CORE XY



Figura. 10. Cabezal y porta herramienta para la impresión 3D.

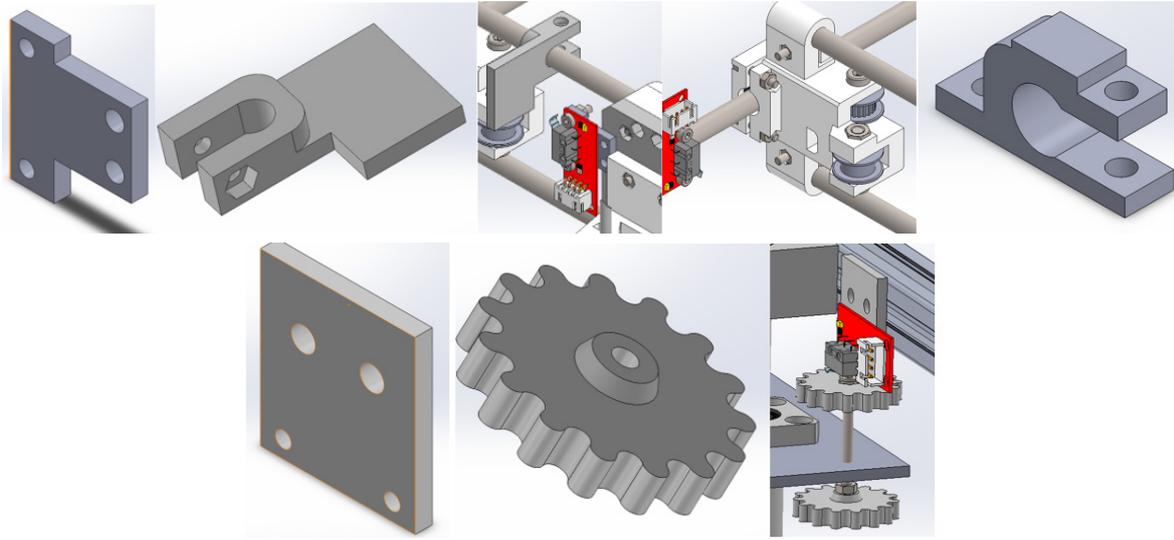


Figura 11. Partes impresas para el soporte de los sensores finales de carrera.

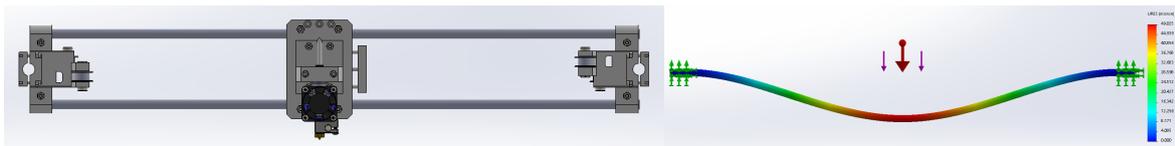


Figura 12. Análisis FEA al Eje X.

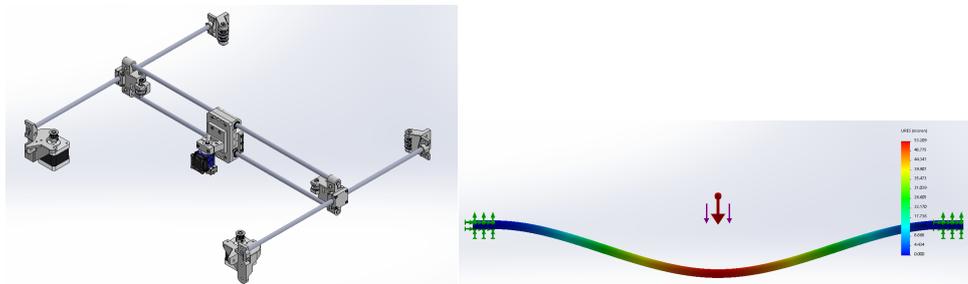


Figura 13. Análisis FEA al Eje Y.

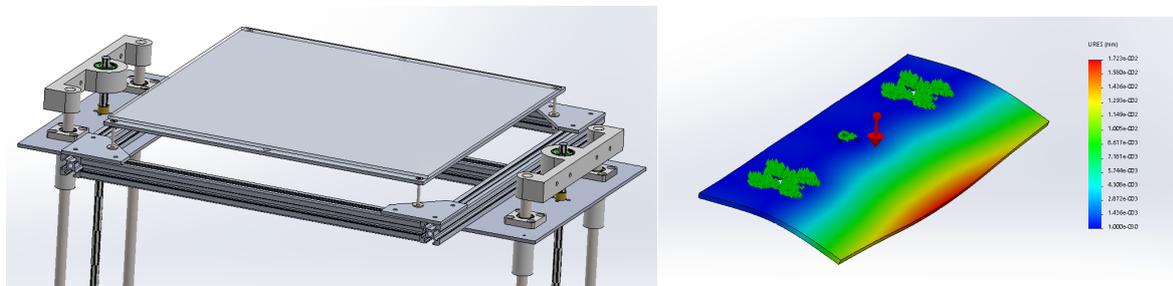


Figura 14. Análisis FEA de la plataforma de impresión