

## Diseño y análisis estructural de componentes para una impresora en 3D

### Design and structural analysis of components for a 3D printer

LESDESMA-JAIME, Reynaldo†\*, ORTIZ-ROA, Arturo, MALDONADO-ECHEGOYEN, Rodrigo, FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Reynaldo, Ledesma-Jaime* / ORC ID: 0000-0001-9484-3305, Researcher ID Thomson: S-6786-2018, CVU CONACYT ID: 165239

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Arturo, Ortiz-Roa* / ORC ID: 0000-0003-0543-7810, Researcher ID Thomson: S-7642-2018, CVU CONACYT ID: 947387

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Rodrigo, Maldonado-Echegoyen* / ORC ID: 0000-0002-4827-4639, Researcher ID Thomson: S-8511-2018, CVU CONACYT ID: 334798

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Miguel Ángel, Ferrer-Almaraz* / ORC ID: 0000-0003-4913-4010, Researcher ID Thomson: S-6969-2018, CVU CONACYT ID: 342076

Recibido: 12 de Enero, 2018; Aceptado 28 de Febrero, 2018

#### Resumen

El proceso de impresión en 3 dimensiones (3D) consiste en producir formas simples o complejas de componentes mecánicos a partir de la deposición de material fundido sobre una superficie para que se replique la forma de un modelo sólido virtual en un modelo solidificado. Generalmente las piezas a imprimir se generan sobre una superficie caliente y/o en una cámara sellada a temperatura controlada. Como parte de una investigación sobre una impresora en 3D para elaboración de piezas de precisión, se reportan en este artículo algunos resultados obtenidos en lo que se refiere al diseño de algunos componentes, como parte de un proyecto de diseño en la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, con el propósito de generar y transferir tecnología a microempresas locales que se dedican a trabajos de diseño y que requieren de equipo especializado para producir formas complejas en 3 dimensiones. En el presente trabajo se reportan algunos resultados sobre el análisis modal que se realizó al chasis de la impresora, también se incluyen análisis estático estructurales al soporte central del sistema de extrusión y al soporte principal de las piezas impresas, con el objetivo de determinar el tipo y combinación eficiente de componentes para dar soporte a las demás partes; deformaciones, resistencia límite y factor de seguridad fueron cuantificados para evaluar la integridad de dichos componentes durante el funcionamiento.

#### Impresión, 3D, Diseño, Análisis, Componentes

#### Abstract

The process of printing in 3 dimensions (3D) consists of producing simple or complex forms of mechanical components from the deposition of molten material on a surface so that the shape of a virtual solid model is replicated in a solidified model. Generally, the pieces to be printed are generated on a hot surface and / or in a sealed chamber at a controlled temperature. As part of a research on a 3D printer for the production of precision parts, some results obtained in terms of the design of some components are reported in this article, as part of a design project at the Technological University of the Southwest of Guanajuato, with the purpose of generating and transferring technology to local microenterprises that are engaged in design work and that require specialized equipment to produce complex shapes in 3 dimensions. In the present work some results are reported on the modal analysis that was made to the printer's chassis, structural static analysis is also included to the central support of the extrusion system and to the main support of the printed pieces, in order to determine the type and efficient combination of components to support the other parts; deformations, limit resistance and safety factor were quantified to evaluate the integrity of said components during operation.

#### Printing, 3D, Design, Analysis, Components

**Citación:** LESDESMA-JAIME, Reynaldo, ORTIZ-ROA, Arturo, MALDONADO-ECHEGOYEN, Rodrigo, FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel. Diseño y análisis estructural de componentes para una impresora en 3D. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2018 2-5: 27-34

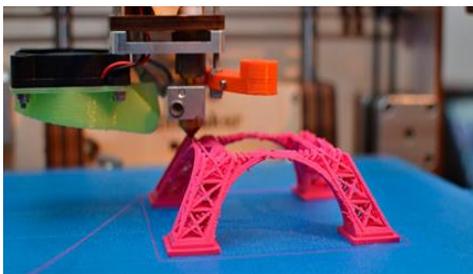
\* Correspondencia del Autor (correo electronico: rledesma@utsoe.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En la actualidad la automatización es una de las maneras de agilizar y controlar los procesos de fabricación, aunado a una demanda creciente de trabajos más precisos y con menor tiempo conducen a establecer mecanismos automatizados que realicen trabajos repetitivos con control en la repetición de componentes.

La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material (layers), para la creación o manufactura de componentes mecánicos de cierta utilidad (Figura 1).



**Figura 1** Proceso de impresión en 3D

Las impresoras 3D son relativamente rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos, así como de los materiales que se pueden trabajar. Actualmente se ha conseguido imprimir en una amplia gama de materiales, quedando fuera algunos de los más importantes en la ingeniería. Con estos dispositivos se ofrece la capacidad para imprimir partes y ensamblajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, y con un simple proceso de ensamble. Las tecnologías avanzadas de impresión 3D pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto. Impresión 3D, Wikipedia.

Tratándose de objetos impresos en tres dimensiones, tradicionalmente se utiliza una impresora que tiene como propósito incorporar material y fundirlo al instante para depositarlo en una superficie con capacidad limitada en el espacio tridimensional. Actualmente se puede imprimir en plástico, polvo de metal, chocolate, concreto, entre otros.

Auxiliándose de un dispositivo de fundición, el material base se transforma hasta un estado plástico y se deposita en una base, donde vuelve a solidificar para recuperar sus propiedades mecánicas.

Si el propósito en una empresa dedicada a la fabricación de objetos tridimensionales es conseguir alta productividad y buena precisión, se puede hacer uso de una gama muy basta de equipos de manufactura por diferentes principios: arranque de viruta, fundición, control numérico, etc., en los que se pueden trabajar piezas con buena precisión y resistencia. Sin embargo, con la impresión en tres dimensiones se pueden conseguir piezas funcionales a un costo moderado y sobre todo con muy poco tiempo de manufactura, lo que lo hace una muy buena alternativa para el prototipado rápido de sistemas mecánicos.

## Justificación

Dentro de los procesos de manufactura con los que cuenta la UTSOE los cuales son: Maquinado, Soldadura, Pailería, etc., se resalta la necesidad del proceso de fabricación de partes y prototipos en 3D, para geometrías más complejas que solo podrían ser posibles con múltiples operaciones con la ayuda de sistemas convencionales de manufactura tales como el torneado y fresado.

En cuanto a desarrollo tecnológico en este tema actualmente se aprecian dos variantes; el desarrollo de equipos de impresión industrial o de línea con marcas muy reconocidas y en diferentes capacidades, y el desarrollo de equipos caseros o desarrollados con cierta improvisación.

Los equipos industriales o de línea son muy costosos aunque brindan cierta confiabilidad y diferentes capacidades de trabajo, mientras que como una alternativa a la problemática de costos, se pueden conseguir algunas recomendaciones en sitios de internet para la fabricación de prototipos de impresoras en 3D caseros o hechos en casa, para los que resulta complicado implementar procesos de automatización y que para producir piezas complejas requieren de un gran número de ajustes de parte del operador, aunado a la restricción que presentan en cuanto a su capacidad que generalmente es reducida.

Por otro lado, la ubicación estratégica de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato conlleva una alta responsabilidad de satisfacer las necesidades del sector productivo de la región, mediante el desarrollo de tecnología, con la cual se enfrentan las demandas que la sociedad necesita. La mayoría de las investigaciones en esta área están basadas en equipos industriales, generalmente con pos procesadores de CNC o sistemas de posicionamiento y extrusores muy eficientes, por lo que se aprecia la oportunidad de desarrollar equipos de baja gama en cuanto a complejidad y de gran capacidad en cuanto a dimensiones, que permitan fabricar componentes con buena precisión y a bajo costo.

### Problema

En esta propuesta se contempla el diseño y fabricación de un prototipo de una impresora en 3D para su uso en el taller de las carreras de Mecánica e ingeniería en metalmecánica, sin escatimar en lo referente a repetitividad de procesos y precisión. De manera adicional se requiere que se puedan manipular los parámetros de trabajo, de tal manera que se pueden conseguir formas de alta complejidad.

Para tal efecto, se plantean como requisitos iniciales, tomados de la experiencia de personas que se dedican a este tipo de actividades, los siguientes: que sea operado por CNC, que utilice tres ejes de trabajo motorizados, y con dimensiones de bancada de 0.6 m por 0.6 m, y con una altura de 0.5 m.

### Objetivos

#### Objetivo General

Diseño, Fabricación y Puesta en marcha de una impresora en 3D con el propósito de fabricar componentes con buena precisión, repetitividad y de bajo costo.

#### Objetivos específicos

- Desarrollo de tecnología en el diseño, fabricación y puesta en marcha de impresoras.
- Transferencia de tecnología en el desarrollo de equipos de impresión.
- Generar mano de obra calificada en desarrollo de la tecnología.

### Marco Teórico

Actualmente un gran número de investigaciones reportadas sobre este tema, abordan situaciones concretas de este tipo de dispositivos, y la mayor parte de estas se centran en el diseño y fabricación, siempre para casos y/o necesidades muy concretos.

En un estudio realizado por Torres (2011), se reportaron los resultados de una investigación sobre una impresora en 3D, poniendo especial atención en el diseño de componentes, se explica paso a paso el proceso de diseño y construcción de la impresora 3D en los cuales se tienen en cuenta las variables y procesos necesarios para la óptima respuesta de la maquina en lo concerniente al acabado superficial de la pieza, tiempo de impresión, paradas de emergencia, entre otras.

Así mismo, Ramírez (2010), reporta resultados sobre el diseño, fabricación y caracterización de una impresora de bajo costo. En cambio, Kasparova (2013), documenta hallazgos sobre aplicaciones del uso de una impresora para impresión de prótesis dentales, si bien no trata sobre el diseño de componentes, si reporta resultados sobre la aplicación de estos dispositivos para fabricar prótesis con altos estándares de precisión.

Misma tendencia que reporta Domínguez (2013) en su análisis sobre la aplicación de impresoras para la fabricación de maquetas en el área de la arquitectura, donde no es significativa la precisión para el funcionamiento de las partes construidas, pero si lo es para cuestiones estéticas.

También se han reportado resultados sobresalientes en otros estudios referentes al diseño y análisis de impresoras en 3D, tal es el caso de Acuña (2014) que informa sobre detalles muy específicos sobre el diseño, construcción y prueba de una impresora con resultados sobresalientes. También incluye datos sobre el diseño de componentes, así como del análisis estructural por medio del método de elemento finito de un soporte para el extrusor.

Otras investigaciones, Balderrama (2014), reportan resultados tendientes a mejorar la calidad de los modelos impresos con el manejo de técnicas adicionales al proceso de impresión.

En la gran mayoría de estudios se observa el gran interés que existe por el diseño de dispositivos de impresión en 3D tendientes a ser más eficientes, mismo objetivo que se pretende conseguir con este proyecto, bajo un enfoque distinto.

### Metodología de Investigación

Para alcanzar los objetivos de la presente investigación se planteó una metodología sistemática y ordenada, la cual se describe a continuación.

### Tipo de Investigación

En este documento se reportan algunos resultados sobre el proyecto en base a una investigación del tipo *aplicada*, centrándose en la selección de componentes mecánicos y el análisis de estructural del puente de impresión y de la base portadora de piezas, con el propósito de obtener sus dimensiones finales. También se realizó el análisis modal del chasis de la impresora para conocer el comportamiento dinámico. Misma que fue soportada por una fuerte investigación *documental* respecto de los sistemas similares que ya existen en el mercado para este mismo fin.

También se puede afirmar, que de acuerdo a su naturaleza es una investigación en la que se pretende conseguir un resultado tendiente a diseñar una *solución* concreta para satisfacer una necesidad local surgida dentro de una actividad económica de bienes y servicios.

### Métodos Teóricos

El MEF ha adquirido una gran importancia en el diseño y análisis de elementos y/o sistemas mecánicos sometidos a cargas, en el campo de la ingeniería, de la física, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales. Esta situación permite ahora realizar prototipos virtuales, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que trae consigo un bajo costo tanto económico como en tiempo de desarrollo.

La técnica tradicionalmente utilizada por Solidworks® para el análisis por medio del MEF es de acuerdo a lo siguiente: pre-procesamiento, análisis, post-procesamiento y análisis de resultados.

En el pre-procesamiento se elabora el modelo de la estructura de la impresora y/o de sus sistemas, se le asignan materiales, se pasa al ambiente de análisis, se asignan cargas, condiciones de frontera y malla. Una vez hecho esto, se procede a ejecutar el análisis, no sin antes parametrizar las condiciones en base a las cuales el software lo va ejecutar, tipo de solver, tipo de elementos, entre otros. Posteriormente en el post-procesamiento, Solidworks® devuelve imágenes de la estructura en forma de mapas de colores, mostrando también la escala de valores de resultados, para esfuerzos de Von Mises, desplazamientos, deformaciones unitarias (strains) y factor de seguridad.

Por último, en la fase de análisis de resultados corresponde al encargado del proyecto analizar los resultados obtenidos y determinar si son satisfactorios de acuerdo a las condiciones de operación, de los materiales y de los requerimientos de los equipos durante el funcionamiento, y el cual requiere de la experiencia, habilidad y tiempo del especialista.

Por su parte, el análisis modal consiste en la determinación de las características dinámicas inherentes de un sistema en forma de frecuencias naturales, factores de amortiguamiento y las formas de modos, y se formula un modelo matemático para este comportamiento dinámico. El modelo matemático es referido al modelo modal del sistema y de la información de las características que nosotros sabemos esto es la información modal.

### Metodología de Desarrollo

En la propuesta inicial para el diseño y fabricación de una impresora en 3D se planteó el concepto como el mostrado en la figura 2.



Figura 2 Diseño y fabricación de una impresora en 3D

De este sistema, se analizaron principalmente 3 sistemas: El puente de impresión, la base de la cama caliente y el chasis. Esto debido a que son los considerados como críticos en cuanto a resistencia durante la operación.

**Resultados**

Enseguida se describen los procedimientos de análisis por sistema, haciendo énfasis en las condiciones de operación y los resultados obtenidos.

**Análisis estático puente de impresión**

Para propósitos de análisis se utilizó el modelo mostrado en la Figura 3, el cual está formado por dos barras lisas que funcionan como guías del sistema extrusor, dos soportes laterales extremos para guiar el puente en el eje vertical, y por último, el puente del sistema extrusor. Las barras lisas se propusieron de acero aleado 52100, y para los demás componentes se usará placa de aluminio 1060. En el modelo también se aprecian dos motores a pasos y el sistema de extrusión, los cuales fueron excluidos para el análisis y en su lugar se contemplaron cargas estáticas, Figura 4.

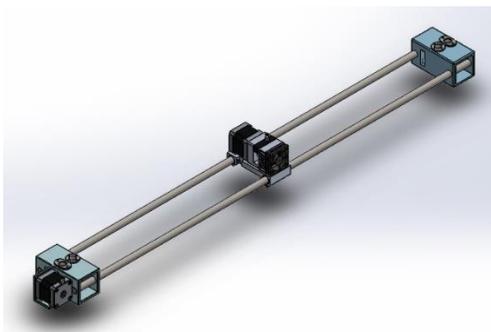


Figura 3 Modelo del puente de impresión

También en la figura 4, se indican los apoyos por los extremos, los cuales físicamente corresponden a dos barras roscadas que elevarán en puente en el eje vertical.

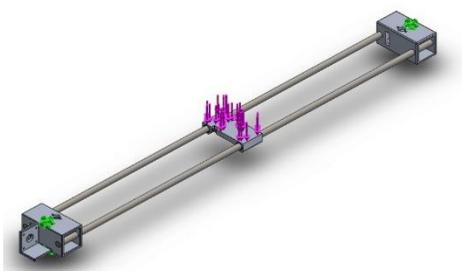


Figura 4 Esquema de cargas y apoyos

Una vez realizado el análisis por medio del Método de Elemento Finito, se obtuvieron los resultados mostrados enseguida. Para los esfuerzos de acuerdo a la Teoría de Von Mises en la figura 5, deformaciones totales en la Figura 6 y por último en la figura 7 se indica una distribución del factor de seguridad en todo el sistema y un acercamiento en la zona donde se ubica el factor de seguridad mínimo, Figura 7.

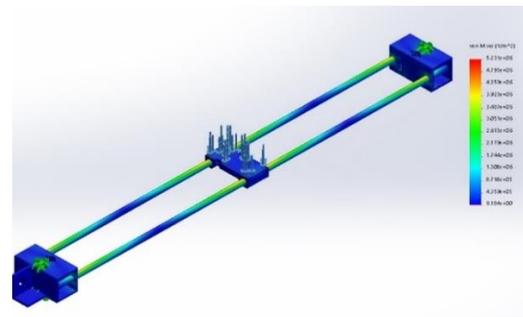


Figura 5 Distribución de esfuerzos de Von Mises

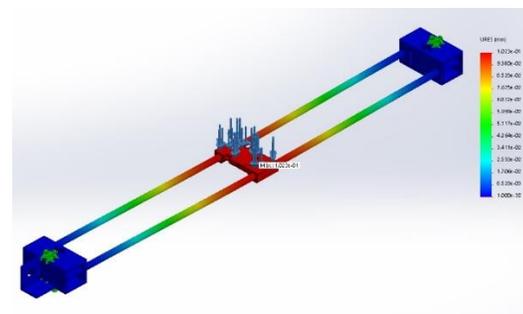


Figura 6 Deformaciones totales

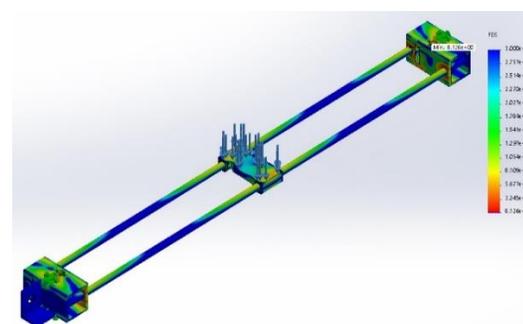


Figura 7 Factor de seguridad

Como se puede apreciar en las figuras, se tiene un factor de seguridad muy alto para este tipo de componentes, de 8.1, mismos que podrían trabajar de forma segura con factores de 1.5 a 2.0. Para este caso, se conservarán de esta manera tratando de conservar la proporcionalidad entre componentes y principalmente para mantener una buena precisión de impresión, debido a que las deformaciones mayores se encuentran en el límite máximo de 0.1 mm. Figura 8.

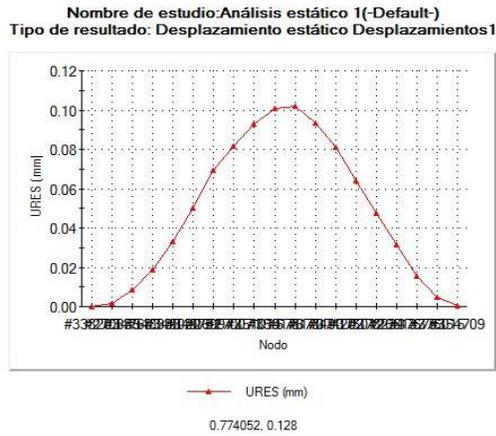


Figura 8 Deformaciones a lo largo de los ejes del puente

Se observa también que la zona de factor de seguridad mínimo se encuentra muy próxima a los apoyos en los extremos, lo que nos hace determinar que todos los componentes involucrados transfieren cargas de manera satisfactoria. Figura 9.

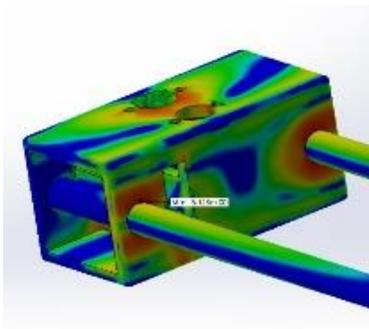


Figura 9 Zona de mínimo factor de seguridad

**Análisis estático base cama de impresión**

El modelo de la base móvil que servirá de soporte de la cama caliente y soportará el modelo impreso se muestra en la figura 10. Uno de los requisitos del diseño base fue el cubrir un área significativa de 60 cm por 60 cm de lado, para entrar en el rango de impresoras de gran formato. Debido a esto se requiere que para modelos de este tamaño no se presenten deformaciones por arriba de la precisión de 0.6 mm fijada como meta.

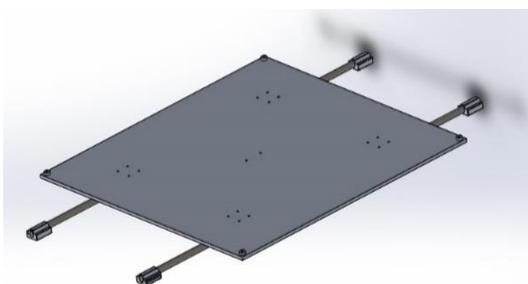


Figura 10 Modelo de la base de la cama caliente

Para el análisis estructural de este conjunto se consideró un peso de la pieza de 2 kg, y la plataforma se considera de placa de aluminio 1060 de 6 mm de espesor. La cama caliente se suspenderá sobre cuatro puntos sobre los vértices de la plataforma base.

Enseguida, en la figura 11 se incluye la distribución de los esfuerzos de Von Mises, los cuales se encuentran muy por debajo del límite elástico de los materiales.

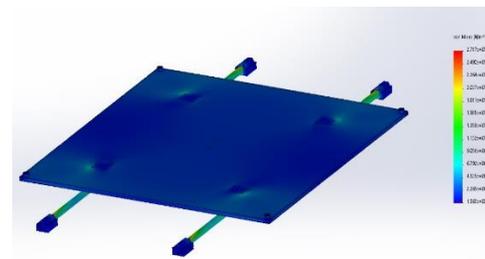


Figura 11 Esfuerzos de Von Mises

Uno de los datos más importantes es el correspondiente a las deformaciones presentes en la base, debido a que esta afectará en gran medida la precisión que se tenga en el proceso de impresión, así en la parte media con la carga estimada se tienen deformaciones máximas de 0.577 mm, lo que representa la precisión en el punto central de impresión. Ver Figura 12.

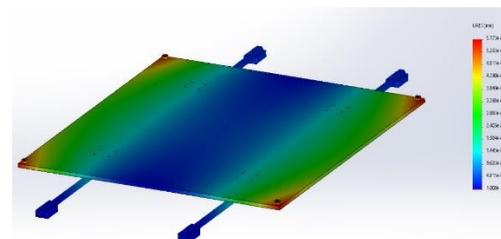


Figura 12 Distribución de deformaciones totales

La distribución de las deformaciones a lo largo de los ejes se muestra en la Figura 13.

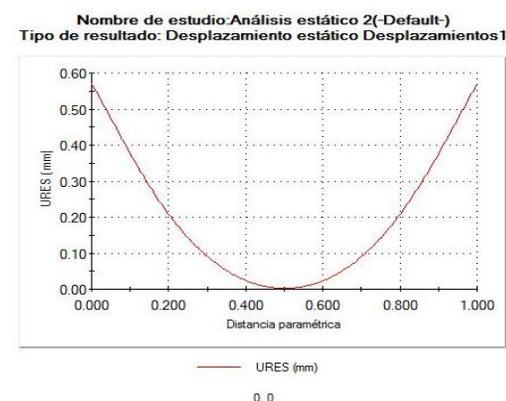


Figura 13 Distribución de deformaciones sobre el eje de desplazamiento

Así mismo, el factor de seguridad se encuentra en un mínimo de 1.2, lo que representa una buena capacidad de carga de esta base, aun teniendo posibilidades de mejora. Ver Figura 14.

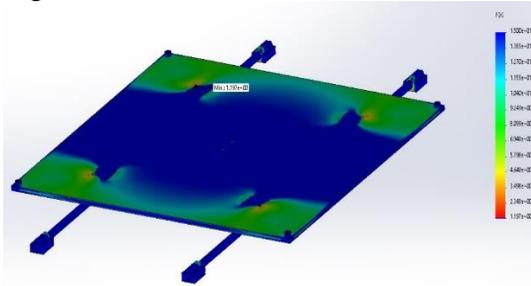


Figura 14 Factor de seguridad

**Análisis modal del chasis**

Durante el funcionamiento de la impresora se presentan movimientos lineales en tres ejes, y con la combinación de los cuales se sigue la trayectoria que marca el procesador para conformar las capas sucesivas y formar el modelo en 3D, la estructura estará sometida a fuerzas ocasionadas por la gravedad, y por la interacción entre componentes (partes y motores). De acuerdo con sus condiciones de operación se ve afectado por excitaciones con una frecuencia característica, las que al coincidir con una frecuencia natural del modelo ocasionaran el fenómeno de resonancia.

En Solidworks se utilizó la siguiente configuración para el análisis: 9 modos, de 0 a 100 Hz como rango de frecuencia, la estructura solo se consideró con apoyos y sin cargas de operación, y todos los contactos del tipo “rígido” para simular uniones atornilladas.

Las frecuencias naturales y algunos de los modos propios son mostrados en la Tabla 1 y en las Figuras 15 a 19. En estas imágenes también se muestran los valores de los desplazamientos totales de acuerdo a los modos correspondientes, que si bien están exagerados, muestran el comportamiento de la estructura.

No	Frecuencia, Hz	Periodo, s
1	16.425	0.060884
2	18.284	0.054692
3	36.119	0.027686
4	42.246	0.023671
5	45.411	0.022021
6	57.463	0.017403
7	67.892	0.014729
8	87.728	0.011399
9	94.76	0.010553

Tabla 1 Valores de frecuencias naturales del chasis

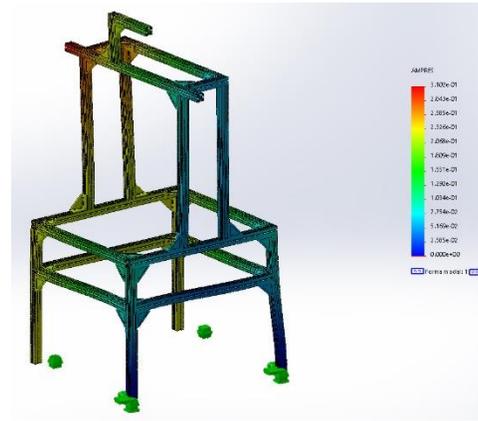


Figura 15 Modo 1. Flexión lateral trasera

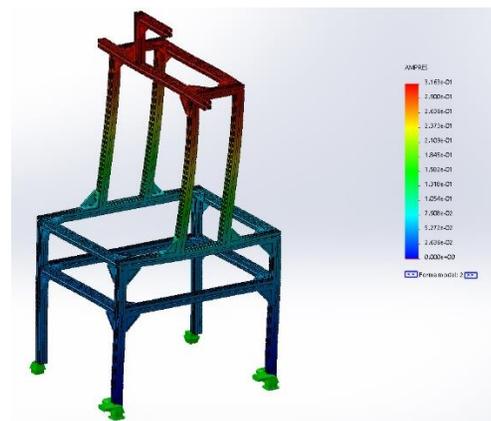


Figura 16 Modo 2. Flexión lateral superior

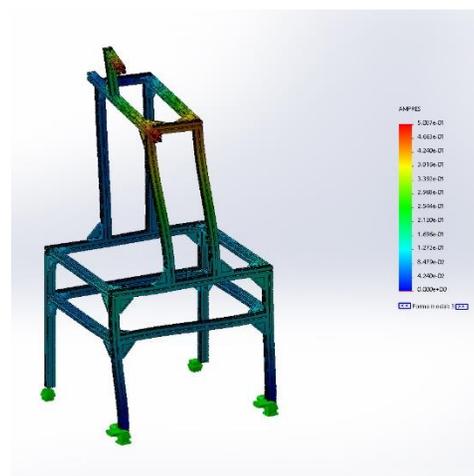


Figura 17 Modo 3. Flexión lateral frontal

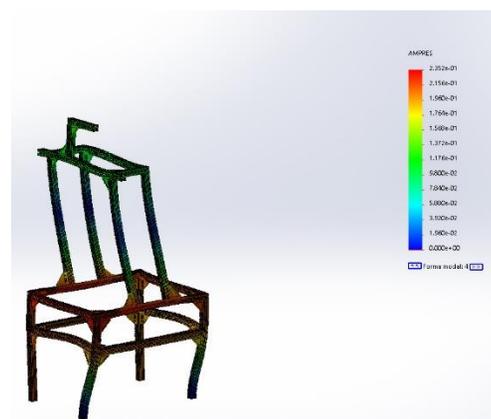
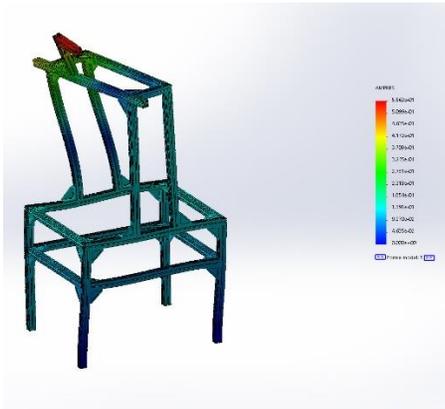


Figura 18 Modo 4. Flexión longitudinal media



**Figura 19** Modo 5. Flexión lateral extremo superior

En cuanto al análisis modal se cuantificaron las frecuencias naturales de la estructura, mismas que resultaron en valores altos, por encima de frecuencias ocasionadas por los accionamientos motorizados.

Para validar los datos obtenidos en esta prueba se deja como recomendación para trabajos futuros y una vez que se construya el prototipo, la realización de una prueba experimental de medición de frecuencias naturales en base a excitaciones comunes, lo que permitirá también descartar daños en las uniones de los componentes por los efectos del fenómeno de resonancia. En general se puede mencionar que el prototipo virtual obtenido tiene buen comportamiento bajo condiciones críticas de operación

## Conclusiones

En este trabajo se presentaron resultados preliminares sobre el diseño de componentes y sistemas de una impresora en 3D, haciendo énfasis en los análisis estructurales de dos de sus sistemas críticos durante la operación, así como del análisis modal del chasis.

Finalmente, de acuerdo a lo reportado en este artículo y a los resultados satisfactorios obtenidos de los análisis y de la ingeniería de detalle, que se desarrollaron haciendo uso de software especializado para el diseño mecánico, se considera que una impresora construida bajo estas especificaciones puede ser eficiente y segura para su operación en cuanto a resistencia e integridad estructural se refiere.

Si bien es cierto, algunos sistemas resultaron con factores de seguridad relativamente altos, y se tenía la posibilidad de reducir materiales, esto no se hizo para conservar la proporcionalidad física dimensional entre componentes.

Para trabajos futuros y que antecedan a la manufactura de los componentes del torno, resta por diseñar el sistema de control e interface CNC para el accionamiento de los motores a pasos en los tres ejes de desplazamiento, el motor para el extrusor y de los periféricos tales como la cama caliente y sistemas de seguridad en los recorridos.

## Referencias

Impresión 3D. En Wikipedia. Recuperado el 6 de agosto de 2018 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n\\_3D](https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D).

Torres Edgar A., León Jersson X., Torres Edwin. (2011). Diseño y construcción de una impresora 3d aplicando la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida. 3er Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica – UNAB.

Ramírez, Aaron Eduardo. 2010. Design, fabrication, and characterization of a low-cost flexural bearing based 3D printing tool head. Massachusetts Institute of Technology.

Kasparova Magdalena, Grafova Lucie, Dvorak Petr, Dostalova Tatjana, Prochazka Ales, Eliasova Hana, Prusa Josef and Kakawand Soroush. (2013). Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. BioMedical Engineering OnLine. 12:49.

Domínguez, I.A.; Romero, L.; Espinosa, M.M.; Domínguez, M. 2013. Impresión 3D de maquetas y prototipos en arquitectura y construcción. Revista de la Construcción, vol. 12, núm. 2, noviembre, 2013, pp. 39-53. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Acuña Fausto, Rivas David, Chancusi Susana, Navarrete Paúl. 2014. Diseño y Construcción de una Impresora 3D Autoreplicable Controlada Inalámbicamente para el Prototipado de Piezas Plásticas, mediante Software Libre.

Balderrama Omar, Matel S. Adriana, Cortes S. David. Torcuato B. Ernesto. 2014. Mejora de la superficie en objetos 3D impresos por inyección de aglutinante. Congreso Internacional de Investigación Academia Journals 2014. Volumen 6, No. 1, Juárez, Chihuahua, México.