

## **DISEÑO DEL SISTEMA MECANICO DE UNA IMPRESORA 3D QUE UTILIZA ABS EN POLVO RECICLADO.**

**Johovani Misael Suarez Luna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centro de investigación y asistencia técnica del estado de Querétaro, Unidad Hidalgo, México

e-mail autor titular: mecatronico.ia@gmail.com, johovani.suarez@ciateq.mx

**Palabras clave:** Impresión 3D, ALM (Additive Layer Manufacturing), ABS, polvo, reciclaje, método de elemento finito

**Resumen.** *Se desarrollo el diseño del sistema mecánico de una impresora 3D que está enfocada a utilizar como materia prima polvo reciclado de ABS, el área de impresión es de 1.00 x 0.90 x 1.10 mts., se realizaron análisis de elemento finito para validar los componentes críticos del sistema como lo son ejes de transmisión de movimiento X e Y, cama de calentamiento y extrusor.*

### **Abstract.**

*Mechanical design of a 3D printer that focuses on powder used as raw material recycling of ABS is developing, the print area is 1.00 x 0.90 x 1.10 mts., Finite element analysis were performed to validate the critical components of system such as transmission shaft X and Y movement, warm bed and extruder.*

**Key words:** 3D printing, ALM (Additive Layer Manufacturing), ABS, dust, recycling, finite element method

## 1. INTRODUCCIÓN

El prototipado rápido (RP, por sus siglas en inglés) es un término que abarca nuevas tecnologías de manufactura que va directamente ligadas a modelos CAD para la producción de componentes en poco tiempo con la mínima intervención humana. Esto significa que los diseñadores tienen la libertad de producir modelos físicos con mayor frecuencia, permitiendo verificar criterios de ensamble y de funcionalidad así como discutir métodos de manufactura apropiados para su fabricación; como consecuencia los errores, los costos del desarrollo del producto son minimizados. Dicha reducción está en alrededor de un 70% y la colocación del producto en el mercado en un 90% [1]

El prototipado es parte esencial en el ciclo de desarrollo y manufactura de un producto, en el cual se ajusta su forma y funcionalidad antes de invertir en fabricación de herramientas para su producción. Hasta hace poco los prototipos estaban relacionados a personal altamente calificado además de que se llevaba un proceso que podría ser de semanas hasta meses. Esta era una razón por la cual solamente se hacían pocas iteraciones en el ciclo de diseño para optimizar los componentes del sistema.

El PR (Prototipado Rápido) tiene variantes tecnológicas, las cuales se pueden dividir por adición de material y remoción de material. De acuerdo a Kruth [2], la tecnología por la cual se hace el prototipo se debe a la condición física del material con el cual se fabrica el producto. La siguiente figura muestra la clasificación de Kruth, la cual ha sido adaptada a la inclusión de nuevas tecnologías.

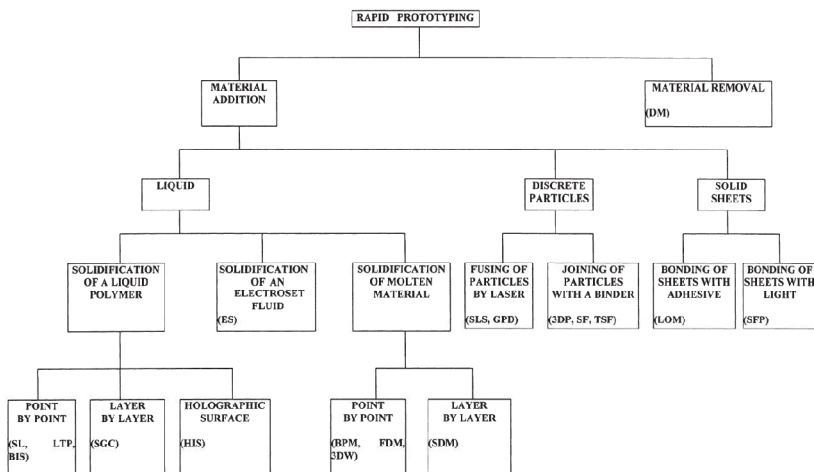


Figura 1. Clasificación de prototipado rápido según Kruth.

En la actualidad existen diferentes técnicas para fabricar prototipos rápidos, tal les como: SLA (Estereolitografía), SGC (Fotopolimerización por luz UV), FDM (Deposición por Hilo Fundido), SLS (Sintetización Selectiva por Laser), LOM (Fabricación por corte y laminado) y DSPC (Proyección aglutinante). Cada una de

estas tiene sus aplicaciones específicas así como sus ventajas y desventajas. La técnica que ha venido a revolucionar el mercado ha sido el FDM, considerándolo por la revista The Economist la tercera revolución industrial. La principal aplicación de esta tecnología va orientada a la impresión de partes de consumo diario, refacciones de electrodomésticos y personalización de artículos personales. El modelo de negocio con el cual se está comercializando esta tecnología puede llegar a ser una ventana para el consumo masivo de ciertos polímeros y aumentar la contaminación.

Con el desarrollo del primer prototipo de impresora 3D que imprima con polvo ABS reciclado se está abriendo la brecha para un producto sustentable ya que con el uso de esta tecnología se forzara al desarrollo de técnicas para la pulverización de los productos ya una vez impresos y que están fuera de uso. La idea es crear un círculo virtuoso en donde el usuario tenga la tecnología tanto para imprimir así como de reciclaje.

A continuación se da una breve explicación de la técnica FDM.

### **1.1 Principios Básicos de la Técnica FDM.**

Esta técnica fue desarrollada por S. Scott Crump en la década de 1980 y comercializada en 1990 por la compañía Stratasys. Actualmente la patente de esta tecnología ha caducado es por eso que muchas nuevas compañías empiezan a diseñar sus propias maquinas bajo este concepto. El procedimiento de impresión FDM comienza con un modelo CAD 3D el cual es exportado en un formato STL. Este archivo STL es el resultado de convertir el sólido CAD en rebanas las cuales son las capas del producto que se imprimirá. Para llevar a cabo la impresión se utiliza un filamento, normalmente es un polímero, este fluye a través de la boquilla o extrusor el cual tiene la temperatura necesaria para hacer pasar de estado sólido a líquido. La boquilla se desplaza en el plano XY y es controlado por un microprocesador que interpreta las coordenadas que se generaron en el archivo STL del modelo CAD. Para crear un nueva capa, el eje Z se desplaza hacia arriba o abajo dependiendo de la configuración de la maquina, el tamaño de la capa es de acuerdo a la precisión que tenga el eje Z. Los espesores de las capas van desde los 0.05mm hasta los 0.5mm y estos dependerán de la resolución de cada uno de los ejes y del diámetro de la boquilla.

Con la técnica FDM todos los polímeros termoplásticos se pueden utilizar incluyendo los biocompositos así como los materiales biodegradables. Las desventajas de esta tecnología son la calidad de la impresión ya que si no se tiene calibrados los 3 ejes se puede ver fácilmente las capas que conforman la impresión al igual que la rugosidad. Las propiedades mecánicas en el eje Z son pobres en comparación en X e Y.

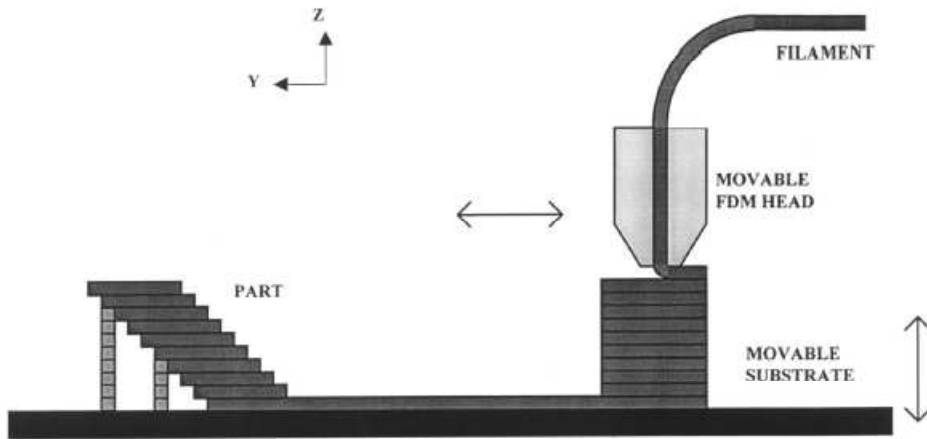


Figura 2. Método de impresión por FDM

## 2. METODOLOGIA.

Para el diseño de este primer prototipo de impresora 3D se conceptualizó mediante métodos avanzados de ingeniería de producto [3]. La primera etapa fue definir una oración que satisficiera los requerimientos de diseño, dicha sentencia fue la siguiente: *"Se requiere de un dispositivo que tenga la capacidad de imprimir polvo ABS reciclado en una área de trabajo de 0.90 x 1.00 mts y que solo se utilice el mínimo número de motores y con una precisión de 20 micrometros en cada uno de sus grados de libertad."* La segunda etapa fue desarrollar el esquema funcional y el modelado geométrico 3D. Por último se hicieron los análisis mecánicos de los componentes críticos mediante métodos de elementos finitos para validar la geometría de los componentes. En la figura 1, se muestran las etapas que conformaron el diseño del prototipo.



Figura 3. Etapas de diseño del prototipo de impresora 3D

## 2.1 Descripción del prototipo.

A comparación con las impresoras 3D FDM de escritorio que actualmente existen en el mercado, el prototipo que planteamos tiene las siguientes características:

- Cuenta con 3 motores a pasos de  $0.45^\circ$ , uno para cada eje \*(X,Y,Z), las impresoras actuales utilizan 4 motores a pasos.
- Para la transmisión de movimiento se proponen utilizar husillos y rodamientos de bolas.
- Para el eje Z se utilizara un sistema tipo tijera pero accionado por un motor a pasos.
- El extrusor es alimentado por un deposito y el material fluye por gravedad.
- Se utilizan calentadores flexibles que llegan hasta la temperatura de  $260^\circ\text{C}$ .

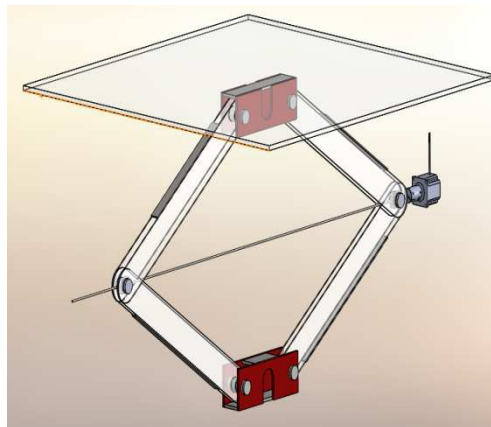
## 2.2 Modelado Geométrico de la impresora 3D.

En la figura 2, se muestra el diseño estructural de toda la impresora 3D, en la cual se podrán ver los componentes antes mencionados.



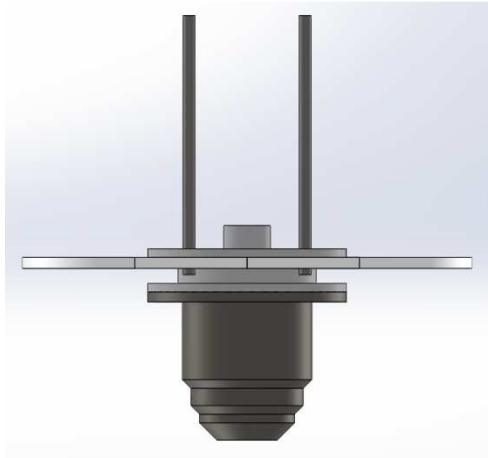
**Figura 4. Modelo Geométrico de la impresora 3D**

El sistema de tijera es el siguiente:



**Figura 5. Modelado geométrico del sistema tijera**

El extrusor se muestra a continuación:



**Figura 6. Modelado geométrico del extrusor**

La materia "prima" que se utilizará en la impresora 3D se considera polvo fino, en la siguiente figura se presenta una muestra del material a utilizar. Dicho material se comercializa en los Estados Unidos Americanos aunque en México ya se empieza a producir. La característica principal de estas partículas es su tamaño que va alrededor de los 0.002mm a 0.005mm.



**Figura 7. Muestra de polvo ABS reciclado**

### **3. RESULTADOS.**

#### **3.1 Sistema cartesiano x-y**

En la siguiente imagen se muestra el Diagrama de Cuerpo Libre del sistema cartesiano XY.

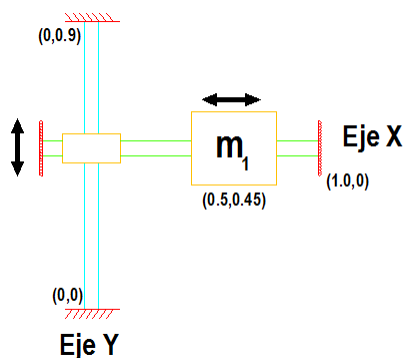


Figura 8. Diagrama de cuerpo libre del sistema cartesiano XY

Para desarrollar el análisis del eje X se tienen las siguientes consideraciones:

La masa 1, es el total de la suma de la masa del extrusor, la masa de materia prima que se encuentra en el interior del extrusor y los soportes del extrusor; teniendo un total de:

$$m_1 = 0.41kg + 2.84kg + 2.33kg = 5.58kg$$

Los ejes de 24 milímetros de diámetro están fabricados de AISI 1045 con las siguientes propiedades:

<b>Modulo Elástico</b>	<b>20500 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Coefficiente de Poisson</b>	<b>0.29</b>
<b>Modulo Cortante</b>	<b>80000 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Densidad</b>	<b>7850 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Limite de tracción</b>	<b>625 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Limite Elástico</b>	<b>530 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Coefficiente de expansión térmica</b>	<b>1.15e-005 /k</b>
<b>Conductividad térmica</b>	<b>49.8 W/(m*K)</b>
<b>Calor específico</b>	<b>486 J/(Kg*K)</b>

y el tornillo de 24 milímetros de diámetro de AISI 1020:

<b>Modulo Elástico</b>	<b>20000 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Coefficiente de Poisson</b>	<b>0.29</b>
<b>Modulo Cortante</b>	<b>77000 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Densidad</b>	<b>7900 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Limite de tracción</b>	<b>420.51 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Limite Elástico</b>	<b>351.57 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Coefficiente de expansión térmica</b>	<b>1.15e-005 /k</b>
<b>Conductividad térmica</b>	<b>47 W/(m*K)</b>
<b>Calor específico</b>	<b>420 J/(Kg*K)</b>

- Solo se considera la gravedad como una fuerza externa al sistema ya que ningún componente está sujeto a tensión o compresión por un agente que no esté considerado



afecte el comportamiento del mecanismo.

- Todas las extremidades están sujetas, sin ningún grado de libertad.
- El material que se utiliza es un AISI 1045

En la siguiente figura se puede observar el comportamiento del sistema, arrojando como máximo esfuerzo de von Mises 6.7 MPa lo cual nos indica que el material no estará sujeto a grandes tensiones.

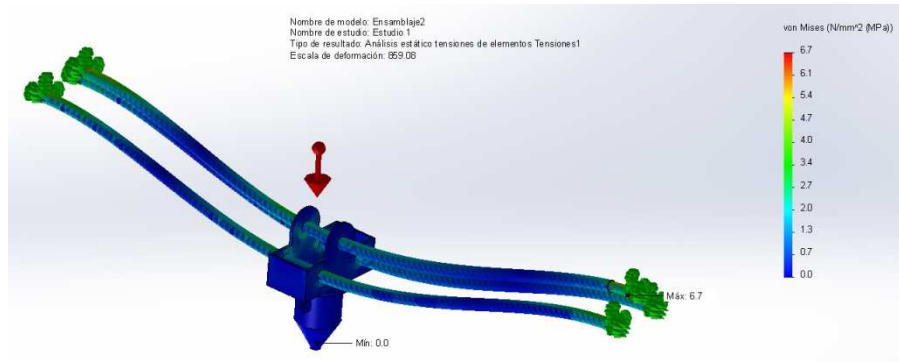


Figura 9. Esfuerzo de von Mises en el arreglo de husillo-tornillo

Las deformaciones resultantes bajo las condiciones de carga establecidas en la simulación son las siguientes:

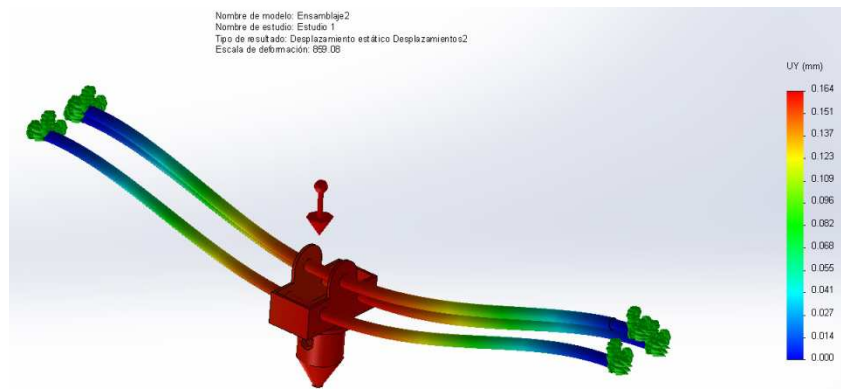


Figura 10. Desplazamiento unitario en Y

Obteniendo como máxima deformación 0.164mm y un factor de seguridad 68.93 como mínimo.



Figura 11. Factor de seguridad para el eje X

Para el análisis del eje Y se tienen los siguientes parámetros; se considera el ensamble del eje X con el eje Y, los materiales en ambos ejes son los mismos. En el eje X se ponen restricciones tipo fija en los extremos y en el eje Y restricciones de tipo rodillo. Los resultados se muestran en las siguientes figuras.

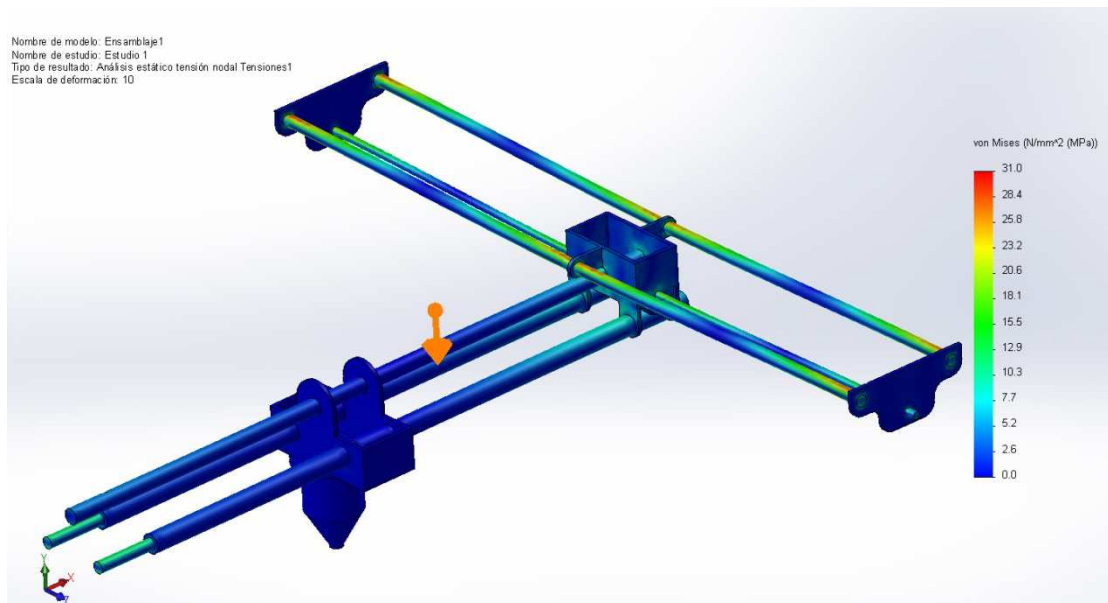


Figura 12. Resultados de Esfuerzos de Von Mises

En la figura 10 se puede observar que el máximo esfuerzo de Von Mises se encuentra en el centro del eje Y pero no sobre pasa el límite elástico del material por lo tanto se considera que

el diseño propuesto es factible para cumplir con las condiciones de trabajo.

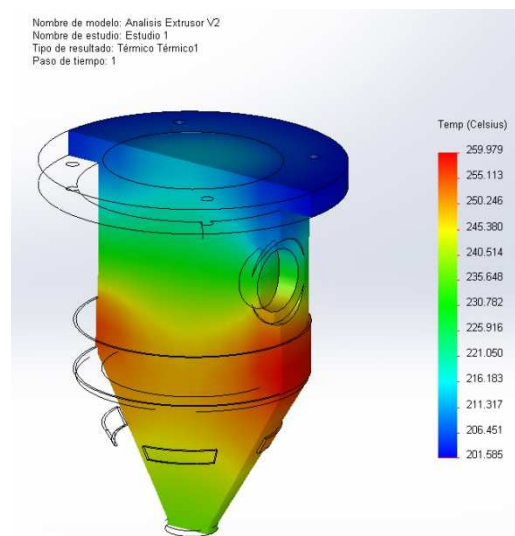
### 3.2 Análisis extrusor.

El diseño del extrusor esta hecho en un material AISI 1020, las propiedades mecánicas y térmicas ya fueron descritas con anterioridad, para la transferencia de calor se utilizan calentadores flexibles que tienen un flujo de calor de  $77,500 \text{ W/m}^2$  y están en un ambiente al aire libre donde la variable de convección es de  $25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Las hipótesis que se hacen para desarrollar la simulación térmico estable del extrusor son:

- El material (ABS) ha fundir debe alcanzar una temperatura de  $260^\circ\text{C}$  para que no exista problemas con la impresión del objeto.
- Se colocan dos calentadores flexibles para transmitir el flujo de calor, uno en la parte superior y otro en la parte inferior del extrusor.

La primera simulación bajo los criterios anteriores nos arroja la siguiente información.



**Figura 13. Transferencia de calor hacia el material**

En la figura 11 se observa que el arreglo de calentadores flexibles satisface la primera condición de trabajo que es de transferir una temperatura de  $260^\circ\text{C}$ , a continuación se presenta un estudio utilizando las cargas térmicas pero en un estudio estático estructural.

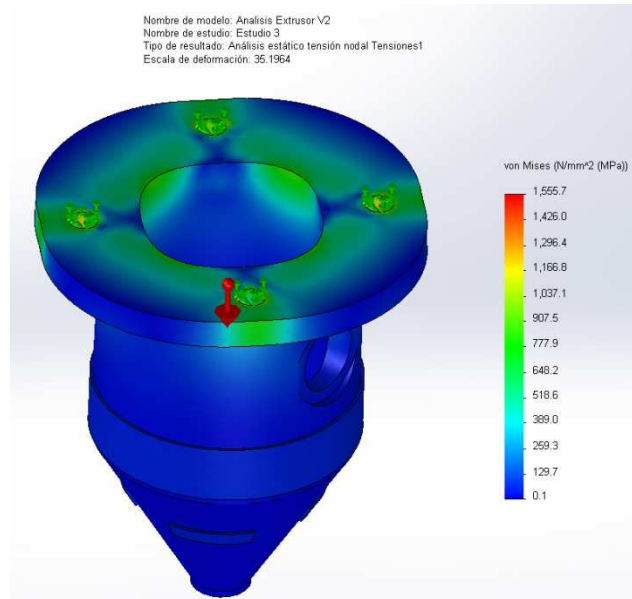


Figura14. Esfuerzo de Von Mises al aplicar la carga térmica.

En la figura 12 podemos observar que los esfuerzos máximos se encuentran en los barrenos debido a que es donde se sujeta el extrusor, el esfuerzo de fluencia del AISI 1020 es de 357MPa en la figura 3 se muestran las zonas que están por debajo .

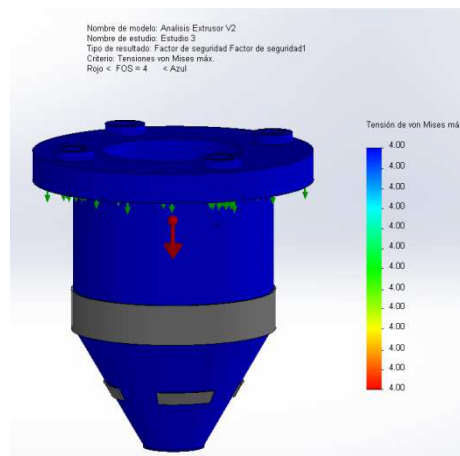


Figura15. Factor de seguridad con aplicando los resultados del análisis térmico al análisis estático

#### 4. CONCLUSIONES

- Para el sistema del eje X, las flechas de diámetro de 20mm que se proponen están dentro de las condiciones de deformación aceptables sin correr el riesgo de una deformación que ponga en riesgo el funcionamiento del mecanismo.

- Para el extrusor, la configuración que se propone cumple con la condición de llegar a una temperatura de 260° en el interior de la boquilla y lograr el cambio de fase de solido a liquido del polvo ABS.
- El diseño que se propone es una impresora 3D amigable con el medio ambiente ya que está enfocada a usar material reciclado ABS, el círculo virtuoso que se crea con este sistema es reducir la contaminación generado por la fabricación de nueva materia prima además de que se tiene la posibilidad de generar un nuevo método de impresión llamado "Deposición por Polvo Fundido" (DPF).

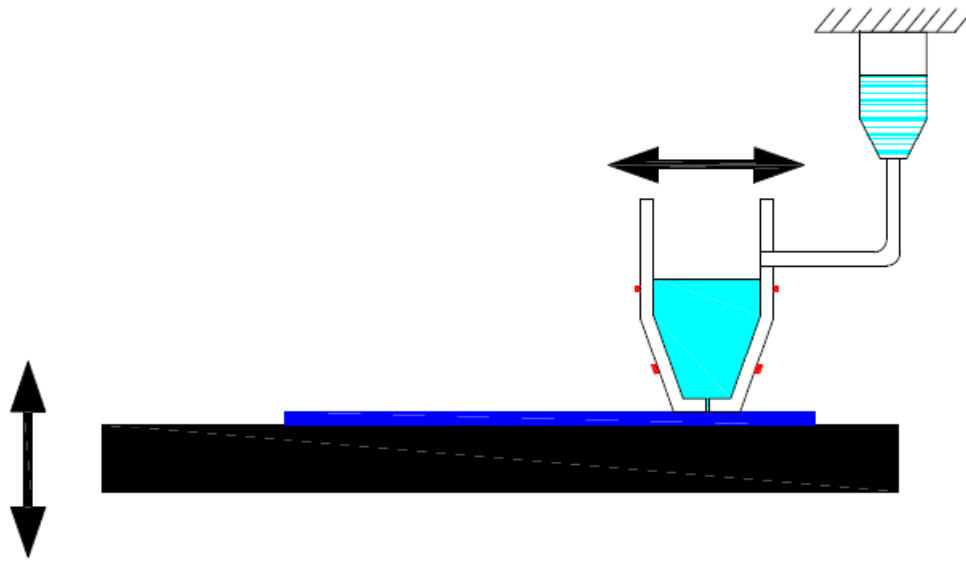


Figura 16. Metodología DPF

- Dicho diseño se encuentra al 100% concluido listo para iniciar la fabricación.

## 5. REFERENCIAS

- [1] N.A. Waterman, P. Dickens, Rapid product development in the USA, Europe and Japan, *World Class Design To Manufacture* 1 (3) (1994) 27–36 J.P.
- [2] Kruth, Material in-process manufacturing by rapid prototyping technologies, *CIRP Annals* 40 (2) (1991) 603–614.
- [3] N. Cross, *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*, John Wiley & Sons. 2005, 3era Ed.
- [4] G. Dieter and L. Schmidt, *Engineering Design*, McGraw-Hill. 2009, 4ta Ed.
- [5] W. Theodore, *Maquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia*, Pearson and Prentice Hall, 2007, 6ta Ed.