

MANUFACTURA ADITIVA EN LA INGENIERÍA DE VALOR Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

ADDITIVE MANUFACTURING INTO VALUE ENGINEERING AND PRODUCT DEVELOPMENT

Claudia Guadalupe Santiago Santos

Instituto Politécnico Nacional, México
csantiagos1500@alumno.ipn.mx

Daniela Candelario Ponce

Instituto Politécnico Nacional, México
dcandelariop1500@alumno.ipn.mx

Gonzalo González Aguilar

Instituto Politécnico Nacional, México
ggonzaleza1500@alumno.ipn.mx

Recepción: 29/octubre/2020

Aceptación: 27/noviembre/2020

Resumen

La manufactura aditiva es un proceso que ha agilizado la evaluación de productos a la hora de diseñar y verificar su funcionamiento. Este trabajo describe cómo se aplicó ésta en el diseño del sistema para transportar y dosificar salvado de arroz (SA) basado en un tornillo sinfín, dentro de una máquina dedicada a la estabilización de este. Durante la etapa de valoración del producto se realizó y fabricó un modelo CAD, con la finalidad de comprobar su funcionalidad y valor aportado dentro del diseño.

Cómo resultado se obtuvo el modelo del sistema utilizando ácido poliláctico (PLA, por siglas en inglés) para su fabricación y aplicando los principios de la ingeniería de valor se concluyó que la disposición de los elementos, sus dimensiones cumplen con los requerimientos funcionales, de intercambiabilidad y manufacturabilidad de la máquina con solo algunos cambios sustanciales, dando un ahorro de tiempo y dinero en análisis de postproducción.

Palabras Clave: Ahorro de recursos, ingeniería de valor, manufactura aditiva, prototipado rápido.

Abstract

Additive manufacturing is a significant step in the process of optimization and design concepts validation. The purpose of this paper is to describe how had applied in the transporting and dosing system design based on an Archimedes screw in a rice bran stabilization machine. During the product evaluation stage, a CAD model was made and manufactured to check its functionality and value-added.

The principles of value engineering applied in the polylactic acid (PLA) model manufactured allowed us to conclude that, with substantial changes, the system elements fulfill the functional, interchangeability and manufacturability requirements of the machine. The saving of resources using a model instead of producing the product and making an expensive post-production analysis are of great importance in the industry nowadays.

Keywords: *Additive manufacturing, prototype, saving resources, value engineering.*

1. Introducción

El proceso de diseño es una metodología que se basa en conceptualizar, diseñar, analizar, probar y mejorar un producto. Una etapa primordial dentro de este proceso es determinar el valor de cada elemento dentro de la máquina, considerando su funcionalidad con respecto a su costo, lo que nos permite verificar si la presencia y desempeño de algún elemento dentro del diseño es óptimo.

En la actualidad se cuenta con distintos softwares CAD, indispensables en el ámbito ingenieril, que permiten modelar y verificar el comportamiento de elementos o sistemas mediante animaciones y simulaciones. Estos softwares de simulación hacen uso de métodos de elementos y de volúmenes finitos que, con el uso adecuado, permiten obtener resultados confiables con un porcentaje global de error bajo.

No obstante, también es cierto que para ciertas tareas es necesario desarrollar un prototipo para corroborar los datos obtenidos computacionalmente y para aplicar análisis cualitativos que en ocasiones es difícil aplicar a un modelo CAD. Esto representa uso de recursos que no aportan valor directo al producto, pero son necesarios para su mejora; sin embargo, gracias a los avances tecnológicos hoy en

día es posible realizar prototipados rápidos y relativamente más baratos con el uso de la manufactura aditiva. Para la industria de producción en masa es esencial, ya que permite lanzar al mercado productos optimizados y pensados en el cliente, evitando cambios dentro de la producción por detección tardía de áreas de oportunidad en el diseño y garantizando una mejor respuesta en el mercado.

Manufactura aditiva y prototipado

La manufactura aditiva (MA) es un término formal utilizado para hablar de prototipado rápido, popularmente llamado impresión 3D; un sistema desarrollado en la década de 1980 y mejorado a lo largo de los últimos años. El prototipado de productos resulta de muchísima utilidad en el desarrollo de productos al permitir obtener un modelo físico del diseño en desarrollo que tanto el cliente como el diseñador tienen la posibilidad de evaluar y retroalimentar con posibilidades de mejora que es imposible observar en un modelo CAD [Gibson, 2010].

De acuerdo con la normativa ISO/ASTM 52900-2015, la manufactura aditiva “es el término general para todas las tecnologías que se basan en una representación geométrica que crea objetos físicos por la adición sucesiva de material”. En contraste con el método tradicional de manufactura en que la materia prima era sometida a diversas operaciones, muchas de ellas de remoción de material.

Al desarrollar un producto usualmente se utiliza el modelado de sólidos que mantiene dos principios de datos para describir el modelo; datos geométricos y datos topográficos. Los primeros indican los parámetros que definen la forma y el segundo relaciona cada uno de los componentes geométricos [Costa, 2019]. Una vez se ha modelado el producto mediante software de diseño y exportado al software de MA (Usualmente en formato STL), es “rebanado” en un número finito de capas que serán depositadas por alguna de las técnicas de impresión 3D hasta obtener el prototipo completo.

Las técnicas modernas del proceso de MA se fundamentan en cuatro patentes: Tinas de fotopolimerización (United States Patente nº 4575330, 1986), fusión de polvo (United States Patente nº 4863538, 1989), extrusión de materiales (United States Patente nº 5121329, 1992) y chorro de aglutinante (United States Patente nº

5204055, 1993) [Gao, 2015]; siendo la extrusión de material (polímero) la más utilizada, mientras que el uso de la fusión de polvo se utiliza solamente para producir piezas de metal de geometría compleja difícil de conseguir con el maquinado convencional.

Estabilización de salvado de arroz

El salvado de arroz (SA) es un subproducto procedente del proceso de pulido del grano de arroz con cáscara [Fundación Produce, 2011]. Recientes estudios lo consideran una fuente potencial de antioxidantes, vitaminas y minerales que contiene un alto nivel de aceite (12-20%) saludable para el cuerpo humano que lo hacen atractivo para la elaboración de alimentos funcionales para consumo humano; pese a ello hasta hace algún tiempo era considerado un desecho y se ha infravalorado destinado a alimentación animal.

Al ser extraído, debido a la presencia de enzimas que oxidan los ácidos grasos en él y degradan su calidad, su tiempo de vida es muy corto (8-12 horas). Dada esta condición, no puede ser utilizado para el consumo humano a menos que sea sometido a un proceso de estabilizado el cual retrasa la acción de las enzimas y por ende la degradación del producto, aumentando su ciclo de vida a hasta 6 meses [Zamora, 2018].

Actualmente existen métodos que incluyen distintos tratamientos para disminuir la actividad enzimática y retrasar su oxidación, como el térmico por vapor húmedo, microondas, calor óhmico, tratamientos enzimáticos y químicos [Amarashingh, 2020]. El estabilizado de salvado de arroz ha tomado relevancia en los últimos años derivado de la posibilidad de realizar diversos productos funcionales a base de este, entre ellos cucharas [Caballero, 2017]. Como resultado de las investigaciones del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI) y el trabajo conjunto con la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Unidad Azcapotzalco, ambos del Instituto Politécnico Nacional (IPN), se desarrolló una máquina de estabilización de salvado de arroz que permite obtener la materia prima en las condiciones óptimas para su utilización en la producción de alimentos y productos funcionales.

La máquina se basa en el método de estabilización térmico con uso de vapor húmedo y calor seco. Dentro de las funciones principales de la máquina está la utilización de un sistema de elevación y dosificación del SA estabilizado mediante un tornillo cónico sin fin que siguiendo el proceso de diseño se conceptualizó, diseñó y analizó con el uso de un software especializado de diseño; mientras que en la fase de preproducción se utilizó el prototipado rápido mediante manufactura aditiva para la evaluación del producto.

Ingeniería de valor

La ingeniería de valor es una herramienta que de forma sistemática ayuda a asignarle valor a un grupo de elementos que conforman una máquina, mejor conocidos como subconjuntos; además de dar un valor, esta herramienta está orientada a mejorar el valor de dichos elementos a través de un análisis funcional comparado con el costo. De esta forma se determina si el conjunto de elementos tiene un valor significativo como parte del producto [Parker, 1995].

Aplicando esto se puede analizar y mejorar el valor de un producto reduciendo su costo o bien aumentando su funcionalidad con ayuda de otras herramientas como el Diseño para la Manufactura (DFM) que se basa en la búsqueda de obtener productos los cuales sean más fáciles de fabricar y de ensamblar, en el menor tiempo con la mejor calidad, facilitando el diseño. Por lo cual es una práctica que tiene como objetivos:

- Diseñar en el menor tiempo con el menor costo de desarrollo.
- Obtener una transición de diseño – producción más rápida y fluida.
- Obtener ensambles y revisiones en un tiempo y costos mínimos.
- Obtener productos con los niveles de calidad y confiabilidad deseada.

El propósito de este artículo es proporcionar un ejemplo de aplicación de la manufactura aditiva dentro del desarrollo de productos, específicamente durante la etapa de preproducción.

Utilizando un prototipo a escala obtenido por MA, se analiza y evalúa el sistema de elevación y dosificación de una máquina de estabilización de salvado de arroz, de

acuerdo con los requerimientos funcionales y de manufacturabilidad; además del fácil mantenimiento, reparación y limpieza necesarios para maquinaria de la industria alimenticia.

2. Métodos

Partiendo de las metas de diseño, las subfunciones que deben realizar los componentes de la máquina para que esta cumpla su función principal y el costo relativo de cada uno, se realizó un análisis donde se identificaron los elementos a evaluar mediante métodos no computacionales; siendo estos elementos los que tendrían lugar en el proceso de verificación mediante la aplicación de la MA, de acuerdo con la metodología que se ilustra en la figura 1.

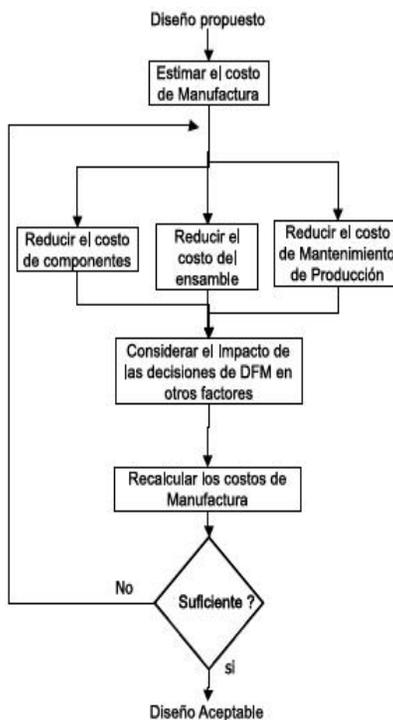


Figura 1 Metodología DFM.

Como se menciona al inicio de este trabajo se hace uso de la ingeniería de valor y de las herramientas del DFM para determinar los elementos a evaluar, en la tabla 1 se muestra el análisis del costo relativo de los elementos que componen el sistema de elevación y dosificación.

Tabla 1 Análisis de valor de máquina de estabilización.

PIEZA	COSTOS		
	(Miles de pesos)		
	COSTO UNITARIO	COSTO AL VPN	% DE COSTOS UNITARIO
Cámara de enfriamiento	19.692	14.769	4.2673458
Motor eléctrico CD 0.5 HP	6.321	4.74075	1.3697894
Tornillo sin fin	30.018	22.5135	6.5050369
Polea conducida	0.652	0.489	0.1412914
Polea motriz	0.428	0.321	0.0927495
Banda	0.881	0.66075	0.1909167
Balero de soporte	0.956	0.717	0.2071695
2 lámparas UV	1.843	1.38225	0.3993865
4 ventiladores	17.036	12.777	3.6917785
Sensor c. Estabilización	1.742	1.3065	0.3774993
Sensor c. Enfriamiento	1.742	1.3065	0.3774993
Panel de control	4.504	3.378	0.9760372
Regulador de velocidad PWM	3.113	2.33475	0.6746012
Timer electrico	3.528	2.646	0.7645336
Luz verde y amarilla de aviso	1.126	0.8445	0.2440093
Luz verde y roja a la salida de la cámara	1.126	0.8445	0.2440093

Considerando el costo unitario, costo total y el costo al volumen de producción se obtiene un porcentaje de costo unitario para cada elemento, de acuerdo con las directrices de la ingeniería de valor.

Posteriormente se analizan las subfunciones de cada elemento y el porcentaje de importancia que estas representan, de acuerdo con la valoración dada a las funciones de la máquina en la etapa de obtención de metas de diseño (Tabla 2).

Tabla 2 Matriz DFM y resultados de valor.

Partes	5	9	2	3	8	5	4	4	5	7	Total	Total relativo de función (%)	VALOR
Cámara de enfriamiento								+		+	11.44578	2.324159	0.544638
Motor eléctrico CD 0.5 HP				+				+		+	21.98795	4.464832	3.259502
Tornillo sin fin		+			+	+	+			+	27.71084	5.626511	0.865008
Polea conducida		+									3.036145	1.834862	12.98637
Polea motriz		+									3.036145	1.834862	19.78298
Banda		+									3.036145	1.834862	9.610801
Balero de soporte			+								1.506024	0.30581	1.476136
2 lámparas UV									+		4.518072	0.917431	2.297101
4 ventiladores								+			4.066265	0.825688	0.223656
Sensor c. Estabilización											8.73494	1.7737	4.636552
Sensor c. Enfriamiento								+			4.066265	0.825688	2.187257
Panel de control								+			6.327711	1.406728	1.441264
Regulador de velocidad PWM				+							2.861446	0.58104	0.861308
Timer electrico											10.24096	2.079511	2.719973
Luz verde y amarilla de aviso											10.24096	2.079511	8.52226
Luz verde y roja a la salida de la cámara						+				+	21.98795	4.464832	18.29779

Con estos datos es posible obtener un número representativo del valor que el elemento aporta al producto y determinar aquellos que serán analizados mediante

los principios del DFM. El DFM es una técnica orientada a mejorar la fabricación de piezas analizando geometrías, valores y tolerancias; por lo que las ventajas de la manufactura aditiva para el prototipado rápido son de gran ayuda al permitir al diseñador realizar un análisis cualitativo más acertado, al emplear una representación física del producto. Para lograr su aplicación es necesario la obtención del modelado en software CAD.

Modelo CAD

Para llevar a cabo el proceso de prototipado rápido fue necesario en primera instancia contar con un diseño CAD de la máquina. Como el que se aprecia en la figura 2, se analizaron algunos factores del modelo con las herramientas de la ingeniería de valor, donde se identificó el sistema de elevación y dosificación de salvado como uno de los sistemas a analizar con el DFM. El sistema de elevación cuenta con diversos componentes los cuales serán evaluados si cumplen con los requerimientos intercambiabilidad con la finalidad de tener una manufactura y mantenimiento sencillo; uno de ellos y de vital importancia dentro del sistema es el tornillo sin fin (Figura 3). el cual es de vital importancia dentro del sistema.

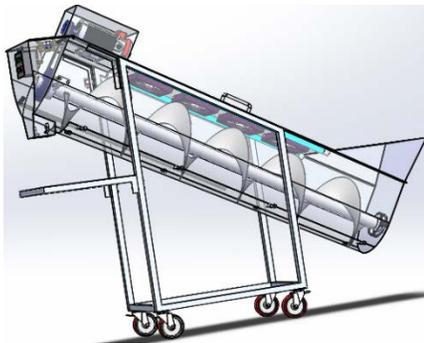


Figura 2 Modelo CAD de elevador de tornillo.

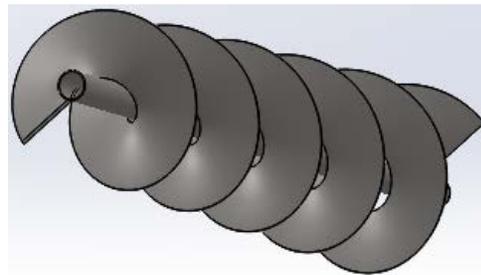


Figura 3 Modelo CAD del tornillo sin fin.

Una vez que se tiene el modelo, es convertido a un formato de archivo STL. Un formato de archivo STL representa el modelo CAD virtual del objeto a ser creado como una colección de facetas triangulares. Estas facetas triangulares, en conjunto, describen una aproximación poliédrica de la superficie del objeto. En forma abreviada, un archivo STL, crea la superficie del modelo en una serie de triángulos

y consiste en coordenadas X, Y y Z de los tres vértices de cada triángulo de la superficie, así como un índice que describe la orientación de la superficie normal [Moreno, 2018]. Para realizar el prototipado rápido se utilizó una máquina de impresión 3D de la marca Mankati, cuyas especificaciones se pueden observar en tabla 3.

Tabla 3 Características de la impresora 3D Mankati.

Modelo	Fullscale XT
Fabricante	Mankati
Tecnología	Extrusión (FFF,FDM)
Tamaño máximo de impresión	260 x 260 x 300 mm
Materiales	ABS, PLA, PVA, TPU..

Esta impresora cuenta con un software, que permite visualizar su área de trabajo como se observa en figura 4, en la cual es posible introducir los parámetros de trabajo del material como la temperatura, establecer un soporte, además tiene como objetivo convertir la pieza sólida en un determinado número de capas (de archivo STL, se guarda como un archivo Gcode) y este determina el tiempo y la cantidad de material que se requiere para elaborar el elemento.

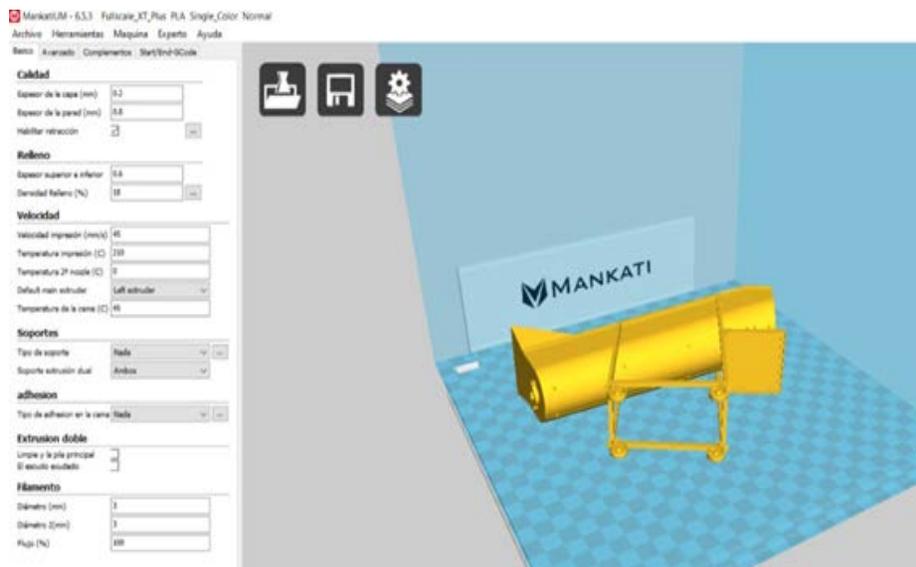


Figura 4 Área de trabajo software Mankati.

Material de fabricación

El material utilizado fue ácido poliláctico (PLA), seleccionado por sus características ya que este ofrece una mayor absorción de energía de impacto con respecto al acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y una mayor resistencia mecánica. Además, según investigaciones la dureza del material PLA es mayor que con la que cuenta el ABS. [Escobar, 2020]. En tabla 4 se pueden apreciar algunas características de trabajo de este material, como las temperaturas a las que se puede trabajar con él, tanto de impresión como la temperatura de la cama, diámetro de filamento utilizado para la generación del modelo, etc.

Tabla 4 Características de trabajo y requerimientos.

Material	PLA
Temperatura de impresión	180-200 °C
Temperatura de cama	60 °C
Absorbe humedad	Sí
Diámetro de filamento	3 mm
Soporte	Raft

Proceso de Fabricación

Una vez que se selecciona el tipo de material, este es colocado en la máquina, para lo cual se tiene que precalentar el extrusor con el que se va a trabajar. Mediante la pantalla de control se inicia el proceso de impresión como se observa en figura 5, el cual tomó un tiempo de 20 horas continuas y se utilizó 12 m de material.

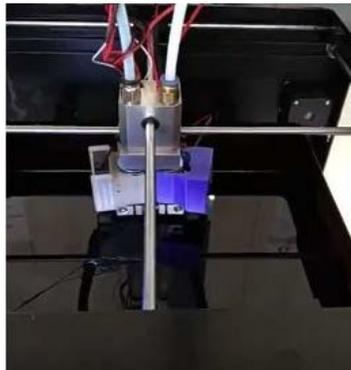


Figura 5 Impresora 3D trabajando.

El último paso del proceso de fabricación es la limpieza, se remueve el excedente de material (soporte), para un mejor acabado de las piezas; es de vital importancia ser cuidadoso al realizar este paso, debido a que, dependiendo de la complejidad de la pieza, ésta podría dañarse fácilmente.

Post procesamiento

Se unen las piezas, con el fin de armar la cámara de enfriamiento, prestando especial atención al proceso de ensamblaje de éstas, tomando en cuenta que uno de los aspectos a considerar es el fácil montaje de las piezas que conforman el sistema de elevación.

Evaluación

Como se muestra en la tabla 5, se realizó el análisis del sistema de elevación con énfasis en los criterios de geometría, dimensiones y la facilidad de ensamble de cada una de las piezas modeladas, esto con la finalidad de identificar áreas de oportunidad y mejora del diseño, adicional a esto se tienen comentarios específicos de los aspectos a modificar.

Tabla 5 Evaluación del sistema de elevación.

Revisión de sistema de elevación de máquina de estabilización de salvado de arroz				
Pieza/Parte	Geometría	Dimensiones	Ensamble	Observaciones
Tornillo sin fin	Ok	Ok	Requiere ajuste	El ensamble del tornillo resulta complicado, se necesita un ajuste de dimensiones de la cámara.
Cámara	Ok	Requiere ajuste	Requiere ajuste	Se observa que existe dificultad al ensamblar las piezas externas por ser una pieza completa, facilitar la manufactura dividiendo la cámara en geometría más sencillas, además de ajustar dimensiones.
Tapa de cámara	Ok	Requiere ajuste	Requiere ajuste	Debe ajustarse a las nuevas medidas de la cámara.
Soporte de tornillo	Ok	Requiere ajuste	Ok	Se requiere rediseño para facilitar la intercambiabilidad de rodamiento.
Estructura	Ok	Requiere ajuste	Ok	Debe ajustarse a las nuevas medidas de la cámara.

3. Resultados

Obtención de modelo

Cómo resultado final se obtuvo el modelo impreso en material PLA de la máquina estabilizadora y con una relación con respecto al diseño original de 1:10, el modelo final sometido a pruebas se observa en la (figura 6).

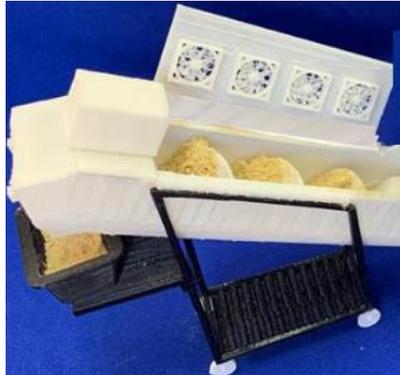


Figura 6 Modelo de elevador en impresión 3D.

Determinación de valor para su optimización

Al aplicar la ingeniería de valor se conocen los elementos a los cuales se les pueden realizar algún cambio, en este caso se contaba con una cámara completamente cerrada que no permitía el ensamble correcto del tornillo, lo cual se modificó, con la aplicación de un par de puertas y piezas desmontables, que además de permitir la intercambiabilidad, mejoraron la libertad de giro del tornillo, así como su funcionamiento.

4. Discusión

Actualmente las grandes empresas, buscan alternativas, para evitar pérdidas económicas importantes al momento de tomar decisiones en cuanto a mejoras a productos existentes o en la introducción de uno nuevo, la MA ha generado cambios importantes dentro de la industria, debido a que con el uso del prototipado rápido, se puede obtener una visión más completa de los efectos o errores que puede tener el diseño y repararlos sin necesidad de invertir grandes cantidades de dinero que podrían perderse.

La ingeniería de valor, en complemento con técnicas como lo es el prototipado rápido, dan como resultado la mejora en procesos de diseño donde no resulta factible o al menos económico analizar la funcionalidad de un elemento de forma real, sin embargo, los casos se limitan al tipo y nivel de pruebas al que debe ser sometido cada elemento. En este caso por tratarse en primer lugar de verificar el correcto montaje del sistema de elevación, el uso de la manufactura aditiva resulta de gran utilidad. Sin embargo para poder utilizar la manufactura aditiva de manera profesional es necesario un conocimiento del comportamiento de los materiales que se pueden utilizar para MA y sus propiedades mecánicas; además de experiencia para poder manejar los parámetros de funcionamiento de la máquina de impresión para reducir o eliminar problemas típicos de la impresión 3D que afectan la calidad del modelo (Altura inadecuada del extrusor, superficie irregular, velocidad excesiva de impresión, velocidad de retracción inadecuada, etc). de manera que el prototipo obtenido sea óptimo y pueda servir para evaluar el diseño real en las condiciones deseadas (carga, estética, funcionalidad, etc).

5. Conclusiones

Hoy en día el desarrollo de nuevas tecnologías y la mejora de productos lleva consigo tareas como el diseño y la manufactura, sin embargo, durante estos procesos se requiere de pruebas para verificar el funcionamiento de elementos o maquinaria que en la antigüedad se realizaban.

Mediante la aplicación de la ingeniería de valor se obtuvo un modelo a escala del sistema de elevación del tornillo sin fin que sirvió para validar mediante la manufactura aditiva la funcionalidad del diseño, además permite la optimización del diseño, por ejemplo, la facilidad de montaje/desmontaje y limpieza del dispositivo, además se encontraron áreas de oportunidad en relación con verificar el proceso de enfriamiento que se llevará a cabo dentro de la cámara.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Amarashinghe B., & Kumarasiri M. (2020). Elsevier. doi:DOI: 10.1016/j.fbp.2008.08.002.

- [2] Caballero Torres D., (2017). Optimización del proceso de estabilización del salvado de arroz para mantener sus características funcionales. Tesis de maestría. Yautepec, Morelos.
- [3] Costa J. A., (2019). Procesos de manufactura con tecnología 3D. *CTS Cafe*, 40 - 49.
- [4] Escobar Guachambala M. A., Gavilanes Carrion J. J., & Freire Quintanilla M. H., (2020). Evaluación de la capacidad de absorción de energía de impacto y dureza en probetas impresas en 3D de PLA y ABS con estructura cúbica y trihexagonal. *Conciencia digital*, 17-33. doi:<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.1204>.
- [5] Fundación Produce, (2011). Produce Morelos. Obtenido de Salvado de arroz.
- [6] Gao W., Zhang Y., & Ramanujan D., (2015). Elsevier. Obtenido de The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering: <https://engineering.purdue.edu/ZhangLab/publications/papers/2015-cad-review.pdf>.
- [7] Gibson I., Stucker B., & Rosen D., (2010). Additive manufacturing technologies. Springer.
- [8] Landín P., (2018). Pelandintecno. Obtenido de Tornillo sin fin: descripción y aplicaciones: <http://pelandintecno.blogspot.com/2018/02/tornillo-sin-fin-descripcion-y.html>.
- [9] Moreno Sanchez G. G., Molina Gil J. A., Frances Reynoso M., & Becerril Rosales I., (2018). Manufactura aditiva, un alternativa de producción actual. Obtenido de Reaxion utleon: http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Manufactura_aditiva_una_alternativa_de_produccion_actual.html.
- [10] Parker D. E., (1998). Value engineering theory. Libraries Australia.
- [11] Zamora B. A., (2018). Caracterización del sistema de producción de salvado de arroz del estado de Morelos. Tesis de maestría. Yautepec, Morelos.