

Desarrollo de una máquina para generar fibra de plástico a base de PET reciclado

Alarcón Diaz, Enrique

2022

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5515>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Desarrollo de una máquina para generar fibra de plástico a base de PET reciclado

Alarcón Díaz Enrique (octavo semestre en Ingeniería Mecánica)¹, Cárdenas Moreno Mauricio Alejandro (octavo semestre en Ingeniería Mecánica)¹, Gutiérrez Jiménez Aldo Javier (octavo semestre en Ingeniería Mecánica)¹*, Sánchez de la Cruz Ricardo (octavo semestre en Ingeniería Mecánica)¹, Valencia Anrubio Jerry Eduardo (octavo semestre en Ingeniería Mecánica)¹, Bernal Cuevas Ramiro Antonino (profesor responsable)¹ y Maldonado García Adrián (profesor asesor)¹.

¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

Resumen

El tereftalato de polietileno (PET) es un polímero plástico que, a pesar de tener gran importancia en la vida diaria, ha llegado a ser un problema para el medio ambiente debido a que es muy difícil que desaparezca de la capa terrestre. El objetivo del proyecto es generar un prototipo de máquina que permita darle un nuevo uso al PET, mediante la creación de fibra a partir de botellas de plástico que se generará a través de los principios de centrifugación y choque térmico. El material resultante es posible darle diferentes usos una vez obtenido. La motivación para realizar el trabajo se ve reflejada en el interés por detener el avance preocupante del estado actual del planeta, en cuanto a contaminación, y en el interés por poner a prueba los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra carrera. El prototipo fue realizado con material y herramientas procedentes del IDIT de la Universidad Iberoamericana Puebla intentando economizar lo mayormente posible debido al carácter estudiantil del proyecto. Los resultados fueron favorables debido a que se logró obtener la fibra de PET con un correcto funcionamiento de la máquina. El reciclaje del PET no es algo nuevo, sin embargo, al ser un material tan usado se requiere toda la ayuda posible al momento de idear estrategias y nuevas formas de reciclaje para este, por ende, el proyecto hace su labor al contribuir en el desarrollo de tecnología que pueda brindar ayuda para combatir el daño ecológico que los seres humanos y sus procesos están ocasionando.

Palabras clave: Fibra, PET, reciclaje, máquina

***Autor Corresponsal:** 188628@iberopuebla.mx

Introducción

El PET es un material no biodegradable que lleva mucho tiempo siendo un problema desde el punto de vista ambiental, por lo tanto, se necesitan buscar formas de reciclar o reusar este material. En 2015 se fabricaron 407 millones de toneladas de plásticos a nivel mundial. De la cantidad anterior, el 9% producido fue tereftalato de polietileno, PET, [1].

En México se estima que se producen más de 4 millones de toneladas al año de polímeros. Únicamente el 9.2% de los plásticos desechados se recolectan para reciclaje y el 15.8% para el caso del PET [2].

Dentro de las aplicaciones del PET se encuentran todo tipo de envases, principalmente para alimentos y bebidas, como botellas de agua y refrescos, fibras textiles, base para cintas magnéticas, etc. El uso principal del PET en México es en botellas de refresco (aprox. 50%) y en botellas de agua (aprox. 17%).

Puesto que el PET tarda tanto en degradarse; y que habrá cada vez más envases, la degradación de estos resulta cada vez más difícil. Estos amontonamientos afectarán de manera directa la belleza de los espacios naturales, y desafortunadamente fortalecerá la proliferación de plagas como mosquitos y cucarachas, concluyen los científicos [3]. Las fibras plásticas son plásticos que se hilan en fibras o filamentos que se utilizan para fabricar tejidos, cuerdas, cordones y cables, incluidas las fibras ópticas. Algunas de las fibras plásticas más conocidas son poliéster, nylon, rayón, acrílico y spandex, aunque hay muchas más. El nombre de

PET es la abreviatura de tereftalato de polietileno, que también se utiliza para fabricar botellas de bebidas.

En todo el mundo, se compran un millón de botellas de plástico desechables para beber cada minuto, y hasta 5 billones de bolsas de plástico de un solo uso cada año. En total, la mitad de todo el plástico producido está diseñado para usarse solo una vez, y luego desecharse. Se estima que se han producido 8.3 millones de toneladas (Mt) de plástico desde principios de la década de 1950 y alrededor del 60% de estos han terminado en un tiradero o en el medio ambiente [2].

Debido a lo comentado en la problemática, se buscó la manera como ingenieros mecánicos de aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera para construir un prototipo de máquina con la finalidad de reciclar PET que sería desechado y fabricar un material útil, el material resultante del reciclaje del PET mediante este proceso es fibra de plástico que puede ser destinado a la elaboración de relleno para muebles/almohadas, confección de ropa o abrigos para resguardarse del frío entre otras más aplicaciones que surjan en el futuro además de la comercialización directa de la fibra como materia prima secundaria.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un prototipo de máquina que produzca fibra de plástico a partir de PET reciclado, para esto se deberá estudiar toda la información disponible acerca de la hilatura por fusión y de cualquier otro caso análogo que exista, una vez entendidos los conceptos necesarios se irá escalando desde pequeños prototipos hasta tener un diseño final para poder llevar a cabo la construcción

final y funcional de la máquina, se busca principalmente promover una forma asequible de equipo para la transformación de plásticos desechados en materias primas secundarias con un valor agregado, para fomentar la cultura del reciclaje y disminuir el impacto ambiental del uso de PET. Con el reciclaje del PET se puede conseguir el ahorro de energía, y, como consecuencia de este menor gasto se facilita el proceso de fabricación y se emiten menos gases de efecto invernadero, gases que provocan una variabilidad en el clima (cambio climático), pues fabricar un producto de cero implica más procesos que si se recicla uno preexistente. Al ser este prototipo fabricado en colaboración con el IDIT existe la posibilidad de que la comunidad universitaria se beneficie de su uso como complemento en proyectos futuros.

Desarrollo de prototipo

Máquina de algodón de azúcar

El funcionamiento de una máquina que pueda realizar fibra a base de un material fundido (PET) es semejante a la de una máquina de algodón de azúcar [Fig. 1], el principio de esto es verter dentro de un recipiente el azúcar o material deseado, el recipiente cuenta con un dispositivo que lo hace rotar a gran velocidad, además este mecanismo poseerá alguna fuente de calor que derrite el material, con la fuerza centrífuga, producida por el giro rotacional, siendo aplicada y gracias a unos agujeros en el recipiente, el material caliente entrará en contacto con el aire y debido al choque térmico ocurrido se obtiene la fibra. [4]

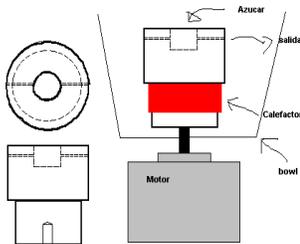


Fig. 1. Esquema de la composición de una máquina para algodón de azúcar

Materiales

Para poder definir los materiales a utilizar se tuvo en cuenta 3 principales componentes que parten de un diseño similar a la máquina de algodón de azúcar, los cuales son el (1) motor para poder dar movimiento a un (2) recipiente giratorio con agujeros, el cual tendrá la función de ser el medio por donde se formará y saldrá la fibra de PET, este sistema tendrá que ser alimentado por otro (3) recipiente donde se llevará a cabo la fundición. De ahí todos los componentes adicionales de la máquina se implementaron al diseño con la intención de hacer más cómodo y eficiente el funcionamiento, desde controladores de temperatura y giro del motor hasta paredes de adoquín para evitar pérdidas de calor, a partir de esto se puede enlistar los siguientes materiales que forman parte del prototipo:

- Motor trifásico marca Siemens modelo MBT Arm 71A (48).

- Controlador de Velocidad Micro master 6SE31111-SCA40 marca Siemens.
- Electrodo revestidos E6013 de 1/8.
- Mesa reciclada de acero.
- Barra reciclada de acero.
- Olla/Vaporera de aluminio
- Resistencia de 850 watts.
- Adaptador para conexión trifásica.
- Controlador de temperatura digital, Berme REX C100
- Recipiente giratorio de aluminio.
- Adoquines rectangulares.
- Mortero/Cemento/Arena.
- Cable de uso rudo calibre 14.

Construcción

Con el material obtenido, ya es posible la realización del prototipo. Todos los procedimientos fueron realizados en el IDIT de la Universidad Iberoamericana Puebla, esto debido a que ahí se encontraban las herramientas y conexiones necesarias para la realización de estos.

- Base del prototipo.

En primera instancia se realizó la base de nuestra máquina en el IDIT, el proceso de esto consistió en soldar una base de acero a nuestra mesa, además otras dos barras de acero previamente barrenadas también fueron agregadas, esto con la finalidad de que cumplan con la función de sujetar el motor, una vez que todas las barras de acero están unidas a la mesa, mediante el proceso de soldadura con electrodo, se procedió a montar el motor trifásico a la base, asegurándonos de que esté correctamente fijando para así evitar vibraciones indeseadas en el momento en que el motor esté encendido. El motor será de tipo trifásico porque es lo que se encontró disponible en la universidad, además este ya venía con su propio regulador de velocidad, esto resulta de gran importancia porque así se puede decir que tan rápido o lento se requiere que gire la máquina, además el IDIT cuenta con las conexiones necesarias para hacer funcionar el motor, por lo tanto, el tipo de motor no resulta problemático.

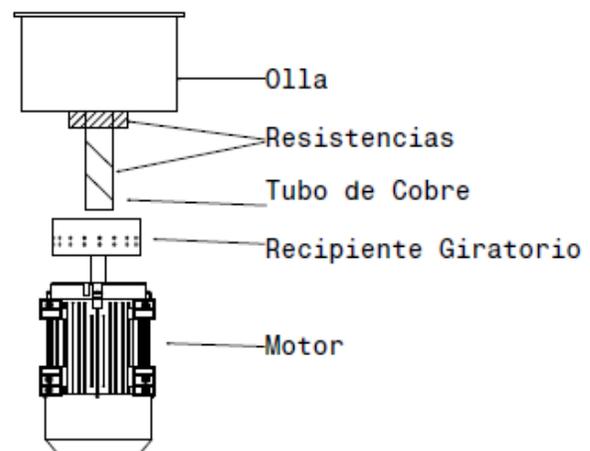


Fig.2 Esquema del prototipo



Fig.3 Base del prototipo

- Recipiente giratorio

Para este elemento es necesario un recipiente circular, este fue obtenido a partir de seccionar una bomba de agua reciclada, que resulte de un diámetro suficiente para que la fibra de PET caiga, es en este recipiente donde acabará y se recogerá el producto final, el recipiente estará adaptado al motor por medio de su eje, este girará a 1700 rpm con ayuda del motor y su controlador de velocidad respectivo. A este recipiente se le realizarán agujeros con ayuda de un taladro y broca de 3/8 de pulgada para que a través de estos salga el PET reciclado en forma de hilos, esto es donde ocurre el proceso de la hilatura de fusión en el que mediante la fuerza centrífuga a la que se expone el PET fundido y al entrar en contacto con el aire es cuando se obtiene la fibra deseada.

- Recipiente de entrada para el PET

El siguiente es la elaboración del sistema de calentamiento donde se introducirá el PET limpio (lavado por fuera, por dentro, habiendo retirado la tapa y sin pegamento de etiquetas) y triturado en trozos pequeños sin alguna dimensión en específico para que su proceso de fundición resulte lo más eficiente posible y así evitar que cualquier otro plástico o componente diferente al PET esté involucrado en el proceso.

Para la elaboración de este elemento, se utilizó una olla/vaporera de aluminio, el material se escogió debido a su costo, practicidad y conveniente conductividad térmica debido a que es un recipiente que debe almacenar una cantidad considerable de PET.

La olla tendrá adaptado un sistema de calentamiento a base de una resistencia eléctrica de 850 watts, está deberá alcanzar una temperatura de aproximadamente 260 °C para poder derretir el PET. También tendrá añadido un controlador de temperatura digital, esto para que se pueda poner un límite a la temperatura deseada y que si esta excede el controlador apagará la resistencia o la prenderá ya sea si el calor de la olla disminuye o aumenta.

Todo el sistema en donde se introduce y calienta nuestra materia prima estará rodeado de paredes de adoquín y cemento con la finalidad de que existan las menores pérdidas de temperatura posibles durante el proceso de fundición.

Por último, existirá un tubo metálico que se calentará con una resistencia de igual manera, su función será transportar

el contenido de la olla al recipiente giratorio acoplado al motor trifásico.

Cálculos de frecuencia natural y corriente eléctrica

Todos los sistemas que poseen masa y un grado de elasticidad son capaces de tener vibraciones por lo que es importante encontrar su frecuencia natural y así evitar alcanzar la resonancia y que esta cause daños.

Se modeló a partir de un péndulo torsional. Por lo tanto, se utilizó la siguiente fórmula [5]:

$$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{I}} \quad (1)$$

El valor de K es desconocido, pero puede ser encontrado mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{M}{\theta} \quad (2)$$

La segunda incógnita de la ecuación es θ por lo que se utiliza:

$$\theta = \frac{ML}{\frac{\pi d^4}{32} G} \quad (3)$$

Finalmente se obtiene una ecuación para encontrar K:

$$K = \frac{\pi d^4 G}{32L} \quad (4)$$

Sustituyendo datos se obtiene:

$$\omega_n = 661.6092 \text{ Hz}$$

Para mantener fundido el PET en el tubo de cobre se sabe que la temperatura de fusión debe estar 260° C por lo que, utilizando la primera ley de la termodinámica se modeló la siguiente fórmula [6]:

$$I = \frac{\pi}{2\sqrt{2}V} \rho D^2 \sqrt{(gL_c \sin \alpha)^3} \quad (5)$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$I = 0.0060 \text{ A}$$

Costos de fabricación del prototipo

Es importante mencionar que ciertos materiales, por ejemplo, metales, maderas, cables y tornillos fueron obtenidos en el IDIT de la Universidad Iberoamericana Puebla de desechos que ya no serían utilizados, por el carácter estudiantil del proyecto resulta más conveniente, por cuestiones de tiempo y dinero, utilizar mesas y otras piezas ya fabricadas a tener que manufacturarlas desde un inicio.

Elementos	Costo (pesos mexicanos)
Motor trifásico marca Siemens modelo MBTArm 71A (48)	\$4,000.00
Controlador de velocidad Micro master 6SE31111-SCA40 marca Siemens	\$25,845.00
Electrodos revestidos E6013 de 1/8	\$180.00
Mesa reciclada de acero	-
Barra reciclada de acero	-
Olla vaporera de aluminio	\$300.00
Resistencia de 1000 Watts	\$170.00
Adaptador para conexión trifásica	\$660.00
Controlador de temperatura digital Bemen Rex-C100	\$377.00
Recipiente giratorio de aluminio	\$50.00
Adoquines rectangulares	\$43.20
Mortero/cemento/arena	\$50.00
Cable de uso rudo calibre 14	\$200.00
Total	\$31,875.20

Tabla 1. Elementos empleados y su costo en pesos mexicanos.

Precauciones para el manejo del PET

El proceso de la fundición del PET deberá requerir ciertos cuidados para el encargado de realizar este proceso, esto debido a que se manejará un material a altas temperaturas que puede llegar a causar quemaduras considerables si llega a entrar en contacto directo con la piel, para su manejo en general es necesario atender a las siguientes recomendaciones:

- Protección ocular/ facial

Utilice goggles enteros para splashes químicos, cuando exista la posibilidad de contacto en la cara o los ojos con material suspendido en el aire. Utilice un escudo facial cuando trabaje con material fundido.

- Protección respiratoria

Los respiradores no son necesarios para el uso normal. Si los controles ingenieriles no mantienen las concentraciones en el aire por debajo de los límites de exposición recomendados (donde aplique) o a un nivel aceptable (en países donde no se han establecido los límites de exposición), un respirador aprobado debe ser usado.

- Ropa de protección

Si hay posibilidad de contacto con el material caliente/fundido, usar ropa y calzado impermeable resistente al calor. Ropa de protección no es necesaria para el uso normal. Los guantes se recomiendan como una buena práctica. [8]

Resultados y discusión

Estudio preliminar con la máquina de algodón de azúcar

Gracias a la construcción de una pequeña máquina para algodón de azúcar [Fig.4] se entendieron ciertos aspectos importantes acerca del proceso de hilatura por fusión, se concluyó de esto que la consistencia de la materia prima es muy importante, el azúcar al igual que el PET deben estar en un estado lo suficientemente líquido para que pueda fluir con rapidez al momento de ser vertido en el recipiente giratorio, si no está a la temperatura adecuada es muy probable que se empiece a solidificar el material en pocos segundos, de ahí se comprendió que el calentamiento debe ser constante y que posiblemente tenga que existir un poco de movimiento en la mezcla para que no existan grumos y se logre una mezcla homogénea con la finalidad de aprovechar toda la azúcar o PET que se fundió.

En cuestiones de diseño se comprendió que es importante evitar vibraciones al momento en que el prototipo esté funcionando, la máquina de algodón de azúcar no contaba con la mejor sujeción entre el recipiente giratorio (lata de atún) y el eje del motor, por lo tanto era propenso a balancearse, consecuentemente se perdía velocidad de giro significativamente y no se lograba formar el algodón de azúcar, en ciertas ocasiones llegó a desprenderse la lata del eje del motor, por lo tanto, para el prototipo final se debía asegurar que el recipiente giratorio se acople de buena forma al motor y brindar una base sin inclinaciones a todo el sistema.



Fig. 4. Prueba exitosa en la máquina de algodón de azúcar

Dificultades presentadas durante el proyecto

A lo largo de la construcción de la máquina no se tuvieron muchas complicaciones, sin embargo, la manera de calentar la olla fue una interrogante durante un tiempo, esto debido a que para calentarla se realizaron las primeras pruebas utilizando un soplete con su respectivo gas butano para generar fuego, el calentamiento con esto resultó rápido, no obstante, inadecuado porque a menos que se cuenten con sopletes alrededor de toda la olla el calentamiento resultaba no uniforme y como mayor problema no controlable, es decir, la fundición podría llegar a quemar el PET al no poder controlar de manera óptima la temperatura.

Entonces se decidió usar una resistencia de 1000 watts colocada por debajo de la olla donde se funde el PET, a esta resistencia se le implementó un controlador digital de temperatura que fue adquirido por el equipo, además de aislar todo el sistema de calentamiento con paredes de concreto para lograr llegar a la temperatura de fundición sin tanta demora.

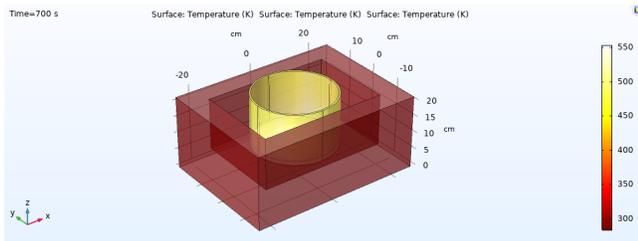


Fig.5 Simulación térmica del horno en COMSOL

Al realizar una simulación del horno propuesto se observa que el tiempo necesario para llegar a la temperatura requerida, 260 ° C toma alrededor de 700 segundos. Por lo que, se recomienda adicionar más fuentes de calor para alcanzar la temperatura necesaria de manera más rápida.

Cabe mencionar que es necesario implementar resistencias en el tubo acoplado por debajo de la olla, este tubo junto con ayuda de la fuerza de gravedad servirá como enlace en el momento en el que el PET fundido caiga dentro del recipiente giratorio. Esta adaptación es necesaria para que el proceso sea eficiente y se mantenga a la temperatura deseada el PET durante todo el proceso. Esto se calculó a partir de la ecuación (5).

Resultados del prototipo final

Con base en los resultados obtenidos en las primeras fibras generadas [Fig.6] se elaboró la Tabla 2. Como se puede observar por cada botella fundida se consigue:

Prueba	No. Botellas	Peso total (gr)	Fibra obtenida (gr)
1	6	112.8	33
2	6	111.5	42
3	6	110	41
4	6	50	14

Tabla 2. Resultados de fibra generada en gramos

Como se nota en la figura 6 la fibra obtenida sale con imperfecciones; aglomerados de plástico y un color café. Debido a la realización de varias pruebas, este color es resultado de una limpieza superficial y sin seguir alguna normativa. Es decir, con una limpieza y esterilización de los envases utilizados para el proceso se tendría como resultado un producto final de tono blanquesino [Fig.7], y sin partículas molestas al tacto.



Fig. 6. Resultado obtenido en primeras pruebas



Fig. 7. Caso análogo con fibra sin impurezas

Al palpar la fibra obtenida se puede percibir que retiene calor y por consiguiente podría utilizarse como aislante térmico, sin embargo, necesita más pruebas específicas.



Fig. 8. Primera fibra de PET producida

Como se puede ver en la Tabla 2 por cada 100 gramos de PET se obtiene aproximadamente 40 gramos de fibra útil. Las pruebas 1 y 2 se realizaron a 1700 RPM. Al observarlos se notan grumos de plástico en forma de bolas sólidas.

La prueba 3 fue realizada a 1130 RPM. Y se notó que la fibra obtenida es más limpia de aglomeraciones y la fibra es más fina en relación con la prueba 1 y 2.

Para la prueba 4 se realizó a una velocidad de 566 RPM y se implementó un sistema rudimentario, elaborado con una hoja, cubriendo al plato giratorio para así evitar que la fibra ya generada se metiera de nuevo al sistema.

Como resultado de la prueba 4 se obtuvo una fibra más sedosa al tacto. Así como mayor volumen. Esta última prueba contenía notoriamente menor número de aglomeraciones.



Fig. 9 Pruebas 1 a 4 de izquierda a derecha.

Diseño en CAD

Se tenía como intención presentar planos detallados con instrucciones sobre cómo realizar el prototipo, sin embargo, por cuestiones de tiempo y con la esperanza de desarrollar más el proyecto en el futuro se brinda una vista de cómo luce la máquina realizada mediante el software CATIA [Fig.9].



Fig. 9. Diseño en CAD del prototipo final

Conclusiones

Se logró realizar con éxito la elaboración de un prototipo de máquina para producir fibra a base de PET.

Debido a tiempos y que la mayoría de las partes fueron recicladas no se pudieron realizar unos planos detallados, sin embargo, se logró entender el principio de funcionamiento del prototipo y los principales factores para replicar la máquina. Siendo estos principios, la velocidad de giro, la cual debe ser lenta, el cuidado en el calentamiento del PET y, evitar que la fibra generada regrese al plato giratorio.

Con la experiencia adquirida a lo largo del proyecto, se recomienda hacer un calentador aislado y controlado, esto utilizando algún material que logré formar un sistema adiabático y con ayuda del controlador digital de temperatura cuidar que la materia prima no se queme, ya que esto influye directamente en la calidad de la fibra obtenida.

También, se recomienda incluir un batidor automático pues esto evita que el PET fundido se queme al mantenerlo en constante movimiento y asegurar una mezcla lo más homogénea posible.

Por último, se puede añadir un método de transporte aislado y calentado entre el horno y el plato giratorio. De igual manera se puede acoplar un ventilador encima del plato giratorio para evitar que ingrese de vuelta la fibra generada al plato.

Referencias

1. Heinrich Böll. **Atlas del Plástico.**https://mx.boell.org/sites/default/files/2021-04/WEB_Atlas_plasticos_Mexico_04.pdf (Activo febrero 2022).
2. S/A (redacción). **Panorama general de las tecnologías de el reciclaje de plásticos en México y en el mundo.** (INECC, México). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/608513/89_2020_Documento_Plastico.pdf (Activo marzo de 2022).
3. Escalón Edith. **Botellas desechables, problemas permanentes.** *Universidad Veracruzana, 2022* [https://www.uv.mx/cienciauv/blog/botellas_desechables/#:%7E:text=El%20principal%20uso%20de%20PET,embotellada%20\(17%20por%20ciento\).&text=Por%20otra%20parte%2C%20la%20quemada, enfermedades%20respiratorias%2C%20asociadas%20al%20c%C3%A1ncer.](https://www.uv.mx/cienciauv/blog/botellas_desechables/#:%7E:text=El%20principal%20uso%20de%20PET,embotellada%20(17%20por%20ciento).&text=Por%20otra%20parte%2C%20la%20quemada, enfermedades%20respiratorias%2C%20asociadas%20al%20c%C3%A1ncer.) (Activo febrero 2022).
4. S/A (redacción). **¿Cómo funciona una máquina de algodón de azúcar?** *La vida cotidiana (Prensa, México).* <https://www.lavidacotidiana.es/como-funciona-una-maquina-de-algodon-de-azucar/> (Activo febrero 2022).
5. Singiresu Rao. **Mechanical Vibrations.** *Pearson.* 2010. (Febrero 2022).
6. Cengel Yunus. **Transferencia de calor y masa.** *McGrawHill.* 2011. (Marzo 2022).
7. Hernández Lorenzo. **¿Cómo se hace el algodón de azúcar?** *Ciencia online (Prensa, México).* <https://www.cienciaonline.com/2007/07/01/%C2%BFcomo-se-hace-el-algodon-de-azucar/> (Activo febrero 2022).
8. S/A (redacción). **Hoja de datos de seguridad Laser+® (Polietileno Tereftalato).** <https://www.plastico.com/documenta/contenido/118363/DK0008SP.pdf> (Activo Abril 2022)