

Reciclaje de PET: fabricación circular e innovación frugal.

PET recycling: circular Manufacturing and frugal innovation.

Pedro Jácome Onofre*

Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico
Superior de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México.
pjacome2020@gmail.com

Emiliano Moreno Pérez

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH),
Departamento de Posgrado, Pachuca, Hidalgo, México.
emp10000@hotmail.com

Cesar Arguelles López

Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico
Superior de Martínez de la Torre (ITSMT), Veracruz, México.
arguelles88@hotmail.com

Guillermo Reyes Morales

Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico
Superior de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México.
pjacome2020@gmail.com

Recibido 12, enero, 2022

Aceptado 20, marzo, 2022

Resumen

En esta investigación se analizó el estado actual de los principales actores que intervienen en este tema de circularidad en el reciclaje del PET, (polietileno tereftalato). La problemática que consistía en la zona de la biosfera de los Tuxtlas Veracruz, México, no es el reciclaje de residuos, sino la forma en que se realiza. Sin embargo, un problema de este tipo fue lograr el aporte mejores metodologías de reciclar, reutilizar, remanufacturar, renovar, reacondicionar, recuperación de piezas, para mantener una ciudad inteligente, este estudio aporta una nueva visión de lo ya expuesto en la problemática, ahora se justifica aplicando dos metodologías existentes en países asiáticos como la India. La manufactura circular y la innovación frugal, este estudio es de relevancia porque se refiere a en obtener un producto totalmente asequible con una manera más fácil y dejar atrás una forma de producir linealmente. En la metodología de reciclaje se menciona como manufacturar un buje para uso automotriz, a base del tipo de reciclaje ya mencionado anteriormente, realizando experimentos de pruebas destructivas para conocer sus propiedades mecánicas, desde el enfoque de la manufactura circular, es hacer lo mejor posible con los recursos que se tiene para garantizar las materias primas y no extraer de la naturaleza.

Palabras clave: Sustentabilidad, Economía circular, Reciclaje, Manufactura circular e Innovación frugal.

Abstract

In this research, the current state of the main actors involved in this issue of circularity in the recycling of PET (polyethylene terephthalate) was analyzed. The problem that consisted in the zone of the biosphere of the Tuxtlas, Veracruz, Mexico, is not the recycling of waste, but the way in which it is carried out. However, a problem of this type was to achieve the contribution of better recycling methodologies, reuse, remanufacture, renovate, recondition, recover parts, to maintain an intelligent city, this study provides a new vision of what has

already been exposed in the problem, now it is justified by applying two existing methodologies in Asian countries such as India. Circular manufacturing and frugal innovation, this study is relevant because it refers to obtaining a totally affordable product with an easier way and leaving behind a way of producing linearly. In the recycling methodology it is mentioned how to manufacture a bushing for automotive use, based on the type of recycling already mentioned above, carrying out destructive testing experiments to know its mechanical properties, from the circular manufacturing approach, it is to do the best possible with the resources you have to guarantee the raw materials and not extract them from nature.

Keywords: Sustainability, circular economy, recycling, circular manufacturing, frugal innovation.

INTRODUCCIÓN

La economía circular consiste en alcanzar un modelo económico y productivo que se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible (Eurochile Fundación Empresarial, 2018). En este sentido, los grandes cambios globales van incrementándose en la población, hay antecedentes que proporcionan información de los avances en el desarrollo de tecnologías limpias. La manufactura circular; trata de una tendencia que surge en respuesta a que algunas industrias se enfrentan a la extinción de materias primas y a la necesidad de desarrollar un nuevo tipo de fabricación que permita garantizar los flujos continuos de dichos bienes. (Romero, 2018: 1), dice que, la manufactura circular pretende, entre otros objetivos, alargar los ciclos de vida de los insumos", y es un área de gran interés dentro del campo de la sustentabilidad. En la actualidad, se busca hacer lo mejor posible con los recursos que se tiene. Con la problemática expuesta se requiere lograr el aporte mejores metodologías de reciclar, reutilizar, remanufacturar, renovar, reacondicionar, recuperación de piezas, para mantener una ciudad limpia y elevar un alto acervo cultural en como ocupar los materiales ya existentes para no extraer nuevos minerales o materiales sintéticos, este estudio aporta una nueva visión de lo ya expuesto en la problemática. Así poder cumplir con el objetivo central de este artículo, que es diseñar y manufacturar un producto totalmente asequible, mediante un modelo de manufactura circular aunado con la innovación frugal, que significa, hacer lo mejor posible con los recursos que se tiene, permitiendo innovar a través del ingenio, de una manera más rápida, barata y mejor. Para evitar la explotación de recursos no renovables y bajar el índice de impacto ambiental, así contribuir a una economía circular. Algunos autores han demostrado con estudios anteriores desde el 2010 se ha divulgado sobre la **ecología y la simbiosis industrial** como una herramienta a la economía circular, haciendo un uso eficiente a los recursos (Kuchinow, 2020).

El modelo económico de extraer, producir, y desperdiciar los residuos, ha llegado al límite de su capacidad física (Arroyo-Morocho 2018). "La economía circular es una alternativa atractiva que busca redefinir qué es el crecimiento, con énfasis en los beneficios para toda la sociedad" (Ellen, 2019:12). La circularidad ha empezado a desplazar a la economía lineal, y este hecho va más allá de la sustentabilidad. La economía circular es un enfoque de desarrollo económico a nivel de sistemas diseñado para beneficiar a las empresas, la sociedad y el medio ambiente. Una economía circular tiene como objetivo desacoplar la globalización del consumo de recursos finitos y construir escenarios económico, natural y social (Ellen, 2019). Una economía circular se basa en los principios de diseño de desechos y contaminación, mantenimiento de productos y materiales y regeneración de sistemas naturales. En este contexto se tiene la oportunidad de hacer un mejor uso de productos y materiales dentro de sectores clave como el de la manufactura. Así mismo, la economía circular ofrece la oportunidad de abordar las emisiones difíciles de reducir y acelerar la transición hacia una economía de cero carbonos (Materials Economic, 2019). Desde la década de 1990, el concepto de manufactura

circular se ha vuelto cada vez más importante como una medida para reducir el impacto ambiental y el consumo de recursos en la manufactura (Takata, 2013).

Objetivos

Diseñar y manufacturar un producto totalmente asequible, mediante un modelo de manufactura circular, practicado con la innovación frugal, para evitar la explotación de recursos no renovables y bajar el índice de impacto ambiental, así contribuir a una economía circular.

Marco teórico

Este artículo forma parte de un amplio estudio en el campo, dando que las investigaciones sobre la remanufactura han dado grandes pasos hacia la elaboración del estado del arte, a continuación, se conceptualizan los siguientes términos:

Manufactura circular: se refiere a la recuperación de valor (es decir, material, energía integrada y valor que se agrega a los productos durante los procesos de fabricación) mediante la reutilización, la refabricación y el reciclaje de forma sistemática. (Asif, 2018).

Innovación frugal: de acuerdo con Radjou y Prabhu, se basa en tres pilares: el primero de ellos es la frugalidad de los medios empleados, el segundo es la flexibilidad en la manera de pensar y actuar; y el tercero es que debe ser un proceso colaborativo, entre personas dentro y fuera de la entidad en la que se realiza la innovación. Por otra parte, los objetivos de la innovación frugal son crear productos y servicios accesibles en precio, fáciles de conseguir y que logren solucionar una necesidad real y valorada por las personas. (Radjou, 2016).

se realizó una selección de métodos para la recuperación y transformación de las botellas de PET, y convertirlo en un producto terminado, se desarrollaron equipos para reciclar el PET, mediante el rehúso de materiales existentes, y convertirlos en cuchillas de corte, tolvas, cribas, y otros utensilios a usar, tomando en cuenta los preceptos de la manufactura circular se desarrollaron equipos para reciclar el PET, mediante el rehúso de materiales existentes, convertidos en cuchillas de corte, tolvas, cribas, y otros utensilios, por ejemplo, los recursos que se usaron son los siguientes: energía, agua, jabón y aire a presión. Para llevar a cabo la investigación, se requirió de los siguientes materiales:

- El PET (Polietileno de Tereftalato) se obtuvo a través de acopio de botellas de bebidas comerciales.
- Máquina para triturar y convertir en hojuelas, fabricada en el Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla. (ITSSAT), con materiales reciclados.
- Equipo de lavado y secado, fabricado en el ITSSAT, con materiales reciclados
- Reactor para fundir las hojuelas a 260 °C. fabricado en el ITSSAT con materiales reciclados, y Pirómetro para medir la temperatura. Marca RKC Digital, Modelo REX-C100. Voltaje de alimentación: 100 – 240 VAC, Japan.

MÉTODOS Y MATERIALES

METODOLOGÍA PARA EL PROCESO DE RECICLAJE

a) Acopio y selección: El acopio y selección de material se realizó en puntos estratégicos en Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla (ITSSAT), el cual representó el principal centro de acopio. Es importante puntualizar que un buen sistema de acopio garantizó un buen suministro de materia prima para el resto de los procesos. (Jácome et. al, 2015a).

b) Trituración: Para la trituración de las botellas de PET se utilizó un prototipo hecho con acero AISI 5160 proveniente de muelas de autobuses, los cuales fueron acondicionados para las cuchillas del molino, según (Matweb, 2012). Donde recomienda esta especificación y tipo de acero. (Figura 1).

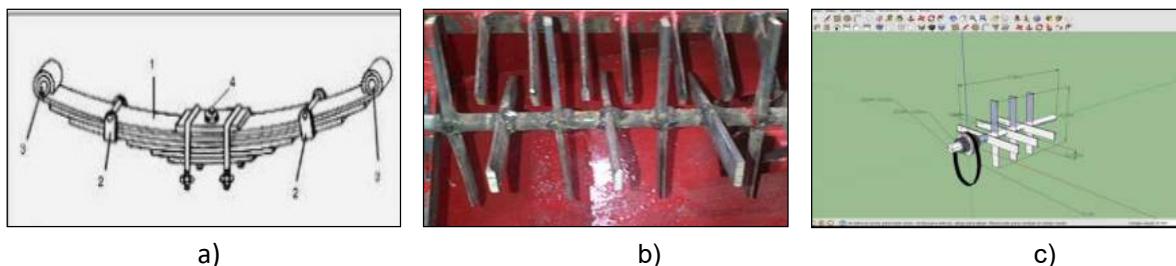


Figura 1. a) Muelas de Ballestas (Fuente: www.pistaseducativas.itc.mx). b) Cortadores de ballestas con filo, y c) Diseño y ensamble de cuchillas de corte en software SKETCHUP. (Fuente propia, 2016)

En la Figura 2, se muestra una dimensión promedio de las hojuelas obtenidas, siendo de 1.5 cm su longitud en los diferentes lados, el cual es triturado por el equipo mostrado en la figura 1.

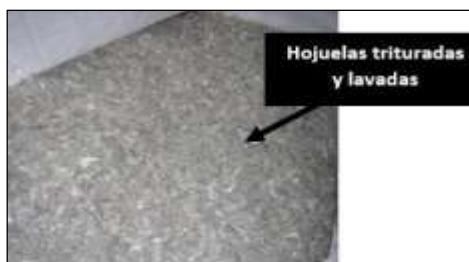


Figura 2. Hojuelas Trituradas, Lavadas y Secadas. (Foto 2016).

c) Lavado y secado

Se diseñó y utilizó un equipo para lavar y secar el PET, capaz de limpiar los residuos adheridos a las hojuelas de PET para tal fin se reusaron válvulas, motores, tuberías, acrílico, un serpentín de cobre, cero su ministro de materiales nuevos, todo de material rehusado (Jácome et. al., 2015b). Este equipo que se muestra en la figura 3, es diseñado por alumnos de ingeniería industrial en el software SolidWorks versión 2016. Este equipo funcional está en un proceso para patente ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI).

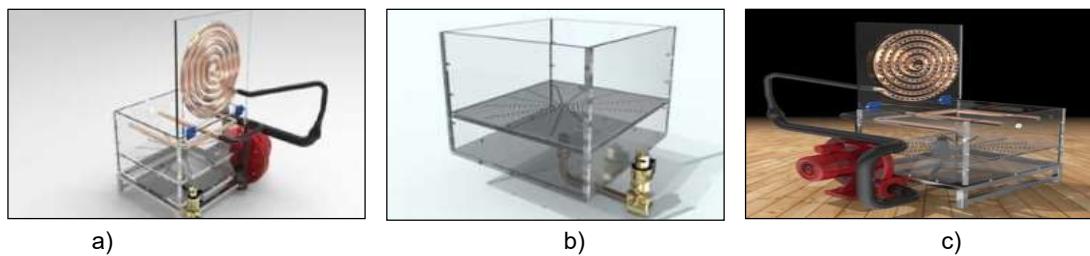


Figura 3 a) Prototípito de equipo de lavado y secado en Solidwork Versión 2014. b) Ensamble con válvula electroneumática, y c) Prototípito terminado con todos los accesorios. (Fuente Propia, 2016).

d) Fundición

Para el proceso de fundición se diseñó un reactor discontinuo con un tanque de acero inoxidable AISI 304 (Instituto Americano del Hierro y el Acero) (Stainless, 2018). En este dispositivo también se utilizaron materiales reciclados, sobre todo para obtener un menor costo de fabricación. En este proceso se introducen las hojuelas de PET y se llevan a una temperatura de 185 °C a 190 °C hasta su punto de reblandecimiento, posteriormente se llega a una temperatura de 260 °C, una vez fundido el PET, se vacía en un molde cualquiera, en este caso se usaron latas de sardina, que fueron muy útil para verter el PET (Jácome et. al., 2015a). En la Figura 4 se aprecia el reactor de fundición diseñado en el laboratorio de química del Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México.



Figura 4. Fundiendo PET a 260 °C. En el Laboratorio de Química. (Foto 2016).

e) Maquinado

En este proceso se realiza el maquinado de bujes derivado del PET que se recicla en el Instituto Tecnológico de San Andrés Tuxtla. En el proceso experimental, el comportamiento del espécimen al ensayarse presentó desprendimientos de fragmentos, el cual son característicos de un material frágil. Sin embargo, al someterse el material en un proceso de manufactura por máquina CNC, marca BOXFORD VMC 300, (de origen Suffolk, Inglaterra), el material no presentó ninguna propagación de falla al ser penetrada por la herramienta de corte de 5 mm y de 12 mm, el cual fue maquinado la muestra a una velocidad de 4 000 rpm/min, Figura 5. Como propuesta para la realización experimental de maquinado de este material, Sí es factible la utilización de material del PET reciclado.



Figura 5. Maquinado de bujes de 25.4 mm de diámetro en PET reciclado. (Fuente Propia, 2016).

En la figura 6 (incisos a y b), se muestran las probetas desarrolladas en el laboratorio de manufactura avanzada, bajo las normas ASTM D695 (American Society for Testing and Materials).

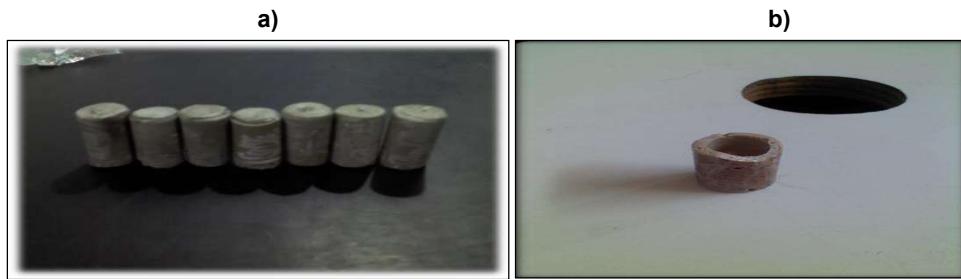


Figura 6. a) Probetas bajo las Normas ASTM D695 b) Buje de 25.4 mm de diámetro maquinado en equipo CNC del Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla. (Fuente Propia, 2016).

Pruebas mecánicas

Para estas pruebas, se usaron máquinas Instron para ensayos destructivos. Aquí se aplican análisis y características de las propiedades físicas del PET. Hoy en día la tecnología está muy avanzada y para todo experimento se requiere realizar pruebas y análisis de la caracterización de los materiales para comprobar hipótesis, por esta razón, se realizaron pruebas a través de ensayos destructivos. En la figura 7, se aborda una breve descripción del equipo de trabajo para realizar las pruebas experimentales del PET reciclado, para el ensayo de materiales, recolección y análisis de datos del mismo. La máquina Instron serie 3380 (Barcelona, España), sirve para ensayar probetas y determinar las propiedades mecánicas y físicas, además del comportamiento de distintos materiales, componentes y estructuras.



Figura 7. Maquina Instron, prueba de tensión (Fuente: Laboratorio De Manufactura del Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla. (Fuente Propia, 2016).

El método mediante el que se lleva a cabo el tipo de ensayo de compresión, se define basándose en la norma ASTM D695 (American Society for Testing and Materials).

Proceso de Manufactura Circular

En la Figura 8, se presenta el modelo lineal y el modelo circular de manufactura que contribuye a bajar el consumo de carbono (CO2) (Materials Economic, 2019). El reto es la transformación hacia el modelo sustentable.

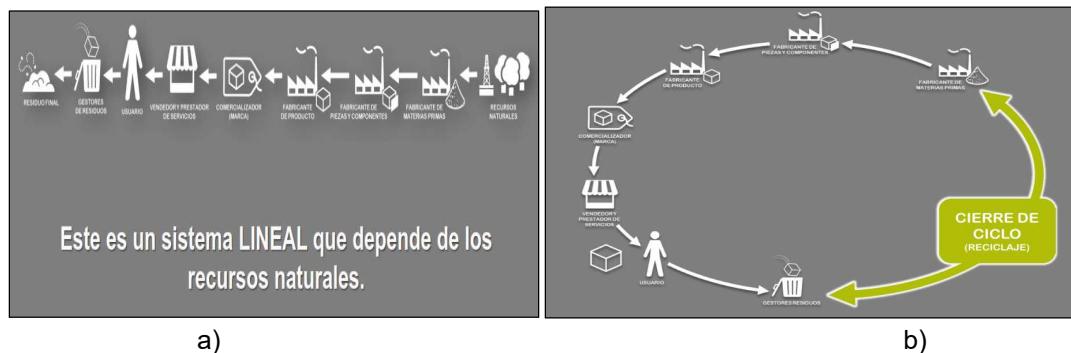


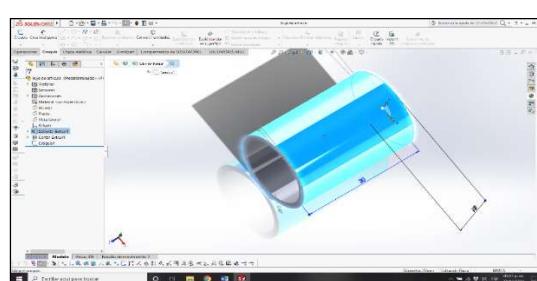
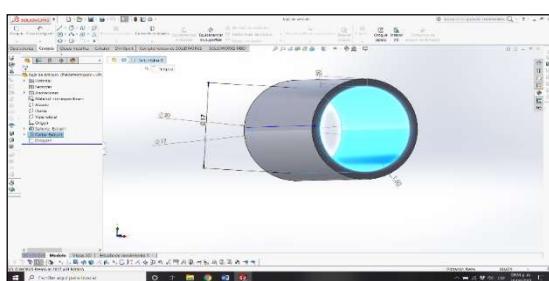
Figura 8. a) Proceso de Economía Lineal, b) Proceso de Economía Circular. (Fuente: Mapfre Economic, 2019).

Aplicación de las metodologías descritas para obtener una nueva materia prima

Esta sección describe una aplicación de la metodología de reciclaje del PET usado, a partir del enfoque de tecnología de la manufactura circular, orientándolos de modo inteligente para inducir el rechazo definitivo de la cultura del despilfarro y de la especulación (Canu, 2017). “En este sentido, una de las estrategias de la manufactura circular que ha tomado mayor peso es la remanufactura que intenta recuperar un producto y regresarlo a una condición de casi nuevo” (Repetto, 2018: 2).

Obtención de un buje para uso en general

En las Figuras 9 y 10, se muestra el elemento de una máquina donde el eje descansa y gira. Puede ser una pieza simple que sostiene un cilindro complejo que forma un punto de unión. Y su función del buje es servir para conectar varios brazos móviles y puntos de pivote al chasis y otras partes de la suspensión de un automóvil.



Schewartz y Col (2018), argumentan que se puede desacoplar el consumo y la producción del uso de los recursos naturales y diseñar nuevas estrategias de utilizar los residuos y contaminación.

Contexto de la manufactura circular en forma sistemática

El propósito del trabajo es presentar la situación actual de recolección de residuos sólidos (PET), en dicha zona (los Tuxtlas). En este trabajo se consideraron aspectos ambientales, caracterización de materiales y diseño de equipos en un contexto de manufactura circular. En este estudio se pretende reducir el material virgen del sistema de producción-consumo, así como los insumos de energía y desechos (Alfarisi y Primadasa, 2019). En este contexto se refiere a recuperación de valor (es decir, material, energía incorporada y valor que se agregan a los productos durante los procesos de fabricación) a través de la reutilización, remanufactura y reciclaje en una forma sistemática (Asif et. al., 2018).

La serie de análisis realizados examinaron a los especímenes de PET, al ensayarse presentaron desprendimientos de fragmentos, se realizaron ensayos destructivos con equipos Instron serie 3380 (Barcelona, España). La Figura 11 muestra los datos experimentales sobre el comportamiento de prueba de compresión del ensayo destructivo.

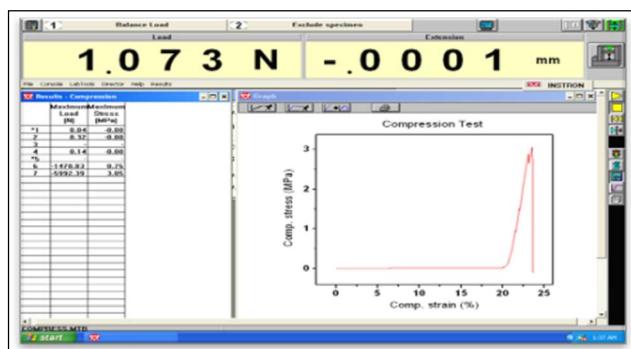


Figura 11. Muestras de esfuerzo-deformación del PET. A una velocidad de prueba de 2 mm/min. (Foto 2016).

La Figura 12 que a continuación se presenta muestra los niveles máximos de esfuerzos, donde el material PET reciclado se fractura en capas longitudinales al cilindro observándose en la Figura 13 solo una parte de desprendimiento y así mismo vuelve a cargarse, donde el resto del material se fractura a mínimos esfuerzos hasta la ruptura final del espécimen.

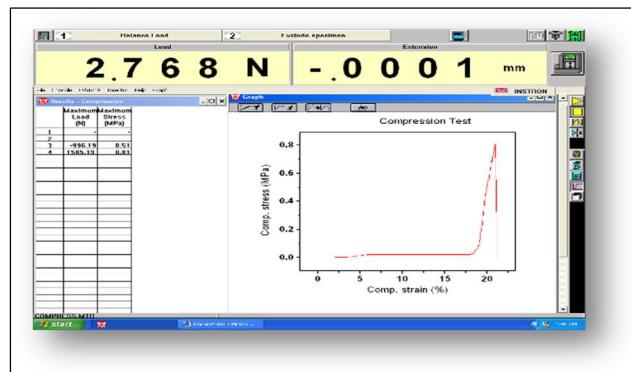


Figura 12. Muestra de diagrama de esfuerzo-deformación del PET, prueba No. 10. (Foto, 2016)



Figura 13. Desprendimiento de fragmentos del PET. (Foto 2016).

Mostrando las gráficas de las Figuras 11 y 12 anterior, según (Jácome, 2015a: 5) “es observable las crestas máximas de esfuerzos, donde el material PET reciclado es fracturado en capas longitudinales”, observándose solo una parte de desprendimiento y así mismo vuelve a cargarse, donde el resto del material se fractura a mínimos esfuerzos hasta la ruptura final de la probeta, es una nueva e interesante observación, “la característica del material frágil, al someterse al proceso de manufactura sustractiva por máquina CNC, el material no presenta ninguna propagación de falla física por la herramienta de corte de 12 mm, a una velocidad de 4 000 rpm/min” (Jácome et. al., 2015b: 6).

Resultados

A continuación, en la Figura 14, se presentan resultados obtenidos de la elaboración de probetas hechos con PET reciclado, desde un enfoque de manufactura circular a bajo costo y bajo impacto ambiental en el caso de los bujes, en el contexto de la tendencia automotriz de utilizar materiales reciclados.

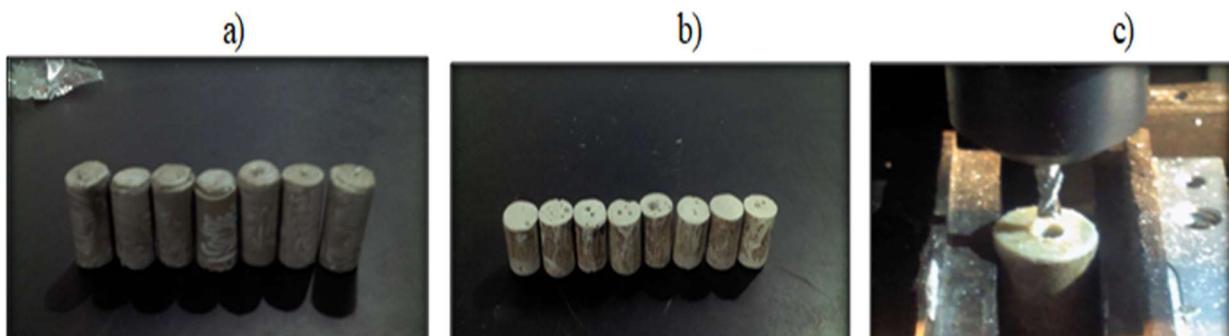


Figura 14. (a) Muestras obtenidas de la tecnología de manufactura circular (b) Muestras aceptadas en el análisis de compresión bajo Norma ASTM D695. (c) Mecanizado de probeta de 12 mm en Fresadora CNC BOXFORD VMC 300, (de origen Suffolk, Inglaterra). (Foto, 2016).

Discusión de resultados

La literatura existente ha encontrado una fuerte relación entre la manufactura circular, sustentabilidad e innovación frugal. Estudios previos han señalado la importancia de usar esta metodología de la manufactura circular, que viene siendo una herramienta de la economía circular. Esta transformación puede habilitarse y es altamente sinérgica con la transformación digital, ya que las tecnologías digitales pueden contribuir a un mejor uso de los recursos, una mayor eficiencia, patrones de consumo más sostenibles y mayores tasas de reciclaje y recuperación de materiales (Schwartz y Arena, 2018). Aquí el autor menciona la secuencia del proceso a utilizar, como medida para reducir el impacto medioambiental por la extracción y usos de recursos no renovables y pueda haber una restauración con una mayor seguridad del suministro. Y logre ser de alguna ayuda para avanzar con un cambio de

paradigma de fabricación. Esta discusión que se presenta va más a otras lecturas o antecedentes, este trabajo se basa más a la sustentabilidad.

El autor hindú (Radjou y Euchner, 2016). Entre sus publicaciones se puede encontrar sobre la Innovación Frugal, que dice así, “Una buena alternativa en tiempo de crisis. La Innovación Frugal viene del hindú “jugaad” que significa, “hacer lo mejor posible con los recursos que se tiene”. Por ello se realiza este proyecto y obtener un producto totalmente asequible. Por lo tanto, se discute de un modelo de consulta único en su género, y en este trabajo se somete a un apoyo para la realización del artículo, más que para una cierta discusión.

El autor Juárez et. al. (2010) para proponer una nueva reutilización viable del plástico, el cual, se usa en las botellas hechas de Poli etileno Tereftalato (PET). Este plástico cuenta con gran potencial de reciclado. Sin embargo, forma parte de los miles de toneladas que son dispuestas a los rellenos sanitarios, generando entre otras problemáticas, la necesidad de generar mayores espacios para la gestión de desechos, además del consumo de materias primas vírgenes. La explicación más verosímil a disminuir la contaminación ambiental, En este sentido, materiales con las cualidades como las del PET pueden ser reaprovechadas por medio del reciclaje, y precisamente en este artículo que se está redactando, va más dirigido a la cultura humana, donde aplicaran otra técnica, como la manufactura circular, acompañada con una innovación frugal, para llegar a obtener resultados sustentables, algo que no aportan otros autores.

Reconociendo hasta qué punto sus productos han contribuido a la creciente crisis de contaminación plástica, muchas de las principales empresas del mundo se comprometen a hacerlo mejor. Cuatro de los socios fundadores de GPAP, Coca-Cola, PepsiCo, Dow y Nestlé, están girando hacia formas más sostenibles de hacer negocios. Coca-Cola se ha comprometido a adoptar envases 100 % reciclables para 2025, por ejemplo, mientras que Dow está financiando iniciativas de gestión de residuos con el objetivo de reducir en un 45 % la fuga global total de plástico (Hughes, 2019).

Conclusiones

Este trabajo se propone una metodología de desarrollo de procesos de reciclado de PET, bajo el enfoque de economía circular, considerando conceptos de manufactura circular y ecodiseño. El comportamiento mecánico de las probetas al someterlas al ensayo destructivo, ha demostrado de manera concluyente de que las propiedades físicas de la probeta no son apta para remanufacturar bujes, En general, estos estudios ponen en relieve la necesidad de realizar otros experimentos, pero con la mezcla de alguna resina o fibra natural para mejorar las propiedades mecánicas de la probeta. No obstante, el PET reciclado con esta metodología puede servir para piezas con bajas demandas mecánicas, a las fechas estas probetas se usan en las prácticas de manufactura avanzada en el Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla (ITSSAT).

Referencias

Alfarisi, S. and Primadasa R. (2019). Carbon Footprint and Life Cycle Assessment of PET Bottle Manufacturing Process. [En línea]. Disponible en: Fecha de consulta: 20 de julio de 2020.

Arias-Vanegas, V. A., Contreras-Velásquez, J. C., Bermúdez, V., Garicano, C. y Modesto, E. (2017). Innovación frugal: un nuevo paradigma de desarrollo sostenible en la base de la pirámide. La Base de La Pirámide y La Innovación Frugal En América Latina, 1. 393-408.

Arroyo-Morocho, F. R. (2018). La Economía Circular Como Factor De Desarrollo Sustentable Del Sector Productivo. INNOVA Research Journal. 3(12): 78-98.

Asif, F. M. A., Roci, M., Lieder, M., Rashid, A., Štimulak, M., Halvordsson, E., and De Bruijckere, R. (2018). A practical ICT framework for transition to circular manufacturing systems. Procedia CIRP. 72: 598-602.

Barrera, G. M. y Campos, C. M. (2015). Materiales sustentables y reciclados en la construcción. (Primer Edición). México: Ed. OmniaScience. 148 Pp.

Canu, M. E. (2017). Economia Circular: Introducción a Los Principios De La Sostenibilidad. Impreso por CreateSpace. Santiago de chile: CreateSpace Independent Publishing Platform; 1er edición. 234 Pp.

Ellen, M. (2019). Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change. [En línea]. Disponible en: Fecha de consulta: 4 de enero de 2021.

Eurochile Fundación Empresarial (2018). Proyecto de programa de difusión tecnológica, economía circular como estrategia para mejorar competitividad y productividad a través del acceso a nuevas tecnologías e innovaciones en procesos y gestión de PYMES del sector metalmecánico y metalúrgico. [En línea]. Disponible en: Fecha de consulta: 2 de octubre de 2020.

Hughes, K. (2019). Global Plastic Action Partnership, en Foro Económico Mundial de Ginebra. [En línea]. Disponible en: Fecha de consulta: 9 de enero de 2021.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). mitigation of climate change, Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [En línea]. Disponible en: Fecha de consulta: 11 de febrero de 2021.

Jácome-Onofre, P., Argüelles-López, C. y Herrera-Franco, L. (2015a). Diseño de un proceso de reciclaje para elaborar placas de PET y utilizarlas para prácticas de maquinados CNC. *Academia Journals*. 7(3): 87-92.

Jácome-Onofre, P., Montoya-Nafarrate, M., Amador-Chagala, H. y Contreras-Contreras, B. (2015b). Transformación del PET para Maquinados, Mediante CNC, y Obtener bujes de 1 pulgada para uso Automotriz. *CONINCI*. 1(1): 172-178.

Juárez, M., Santiago, J. M., and Vera, J. (2010). Feasibility Study for the Manufacturing of Grips of Recycled Pet. *E-Gnosis*. 9: 1-12. 23-31.

M., and Vera, J. (2010). Feasibility Study for the Manufacturing of Grips of Recycled Pet. *E-Gnosis*. 11: 23-31.

Kuchinow, V. (2020). La simbiosis Industrial, o como aplicar los conceptos de economía circular. [En línea]. Disponible en: Fecha de consulta: 22 de diciembre de 2020.

Mapfre Economics (2019). Repensar la economía: hacia un modelo circular. [En línea]. Fecha de consulta: 7 de enero de 2020.

Materials Economic (2019). pathways to net-zero emissions from EU heavy industry. *Industrial Transformation 2050*. [En línea]. Fecha de consulta: 23 de diciembre de 2020.

Matweb (2012). AISI 5160 Steel, annealed, 25mm (1 in.). [En línea]. Fecha de consulta: 19 de enero de 2021.

Radjou, N. and Euchner, J. (2016). The Principles of Frugal Innovation: An Interview with Navi Radjou. *Research-Technology Management*. 59(4): 13-20.

Repetto, F. (2018). Transferencia de tecnologías 4.0, experiencias de aplicación de estas integrando economía circular. [En línea]. Fecha de consulta: 2 de octubre de 2020.

Romero, D. (2018). México debe “encender” sus motores para entrar a la industria 4.0. *Centro de Innovación En Diseño y Tecnología, Del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM)*, 2. [En línea]. Fecha de consulta: 19 de enero de 2018.

Schwartz, D. L. and Arena, D. (2018). Measuring What Matters Most. *Measuring What Matters Most*, (July), 30. [En línea]. Disponible en: Fecha de consulta: 12 de enero de 2021.

Stainless, C. (2018). steel Catalogo, Con acero inoxidable AISI 304. [En línea]. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2020.

Takata, S. (2013). Maintenance-centered Circular Manufacturing. *Procedia CIRP*. 11: 23-31.