

# PROPUESTA DE IMPRESIÓN 3D PARA PLACAS VEHICULARES MEDIANTE SIMULACIÓN DE PROCESOS EN TEGUCIGALPA HONDURAS

12041073 ALEJANDRA ISABELLA SÁNCHEZ VILLEDA

11941181 GUSTAVO ANDRÉS ROSALES CADENAS



# Acerca de la problemática

---

- Honduras enfrenta una grave crisis debido a la escasez de placas vehiculares, una situación provocada por los altos costos de materiales importados. Esto ha llevado a la implementación de identificaciones provisionales en papel, lo que incrementa los riesgos de inseguridad vial y genera descontento en la población.
- En respuesta a esta situación, surge la pregunta investigativa general: ¿Es viable fabricar placas vehiculares utilizando filamento de plástico PETG reciclado mediante impresión 3D y simulación de procesos industriales? El objetivo general del proyecto es desarrollar una propuesta de fabricación de placas vehiculares utilizando filamento de plástico PETG reciclado en impresión 3D mediante el uso de simulación de sistemas industriales.



# Preguntas de investigación

- 1 ¿Se pueden realizar placas vehiculares utilizando filamento de plástico PETG reciclado mediante impresión 3D?
- 2 ¿Cuál es la viabilidad técnica y económica de la fabricación de placas vehiculares de plástico PETG reciclado mediante simulación del proceso?
- 3 ¿Cómo pueden validarse los procedimientos realizados en la fabricación de placas vehiculares de plástico PETG reciclado?

# Objetivos específicos

- 1 Evaluar el proceso de fabricación de placas vehiculares mediante pilotaje de pruebas de impresión 3D utilizando modelado en Solidworks y filamento de plástico PETG reciclado, analizando su funcionalidad e identificando etapas críticas mediante el análisis de flujo de procesos.
- 2 Analizar la viabilidad técnica y económica del proceso de fabricación de placas vehiculares de filamento de plástico PETG reciclado, utilizando análisis de costos y simulación de sistemas industriales mediante FlexSim.
- 3 Validar los procedimientos realizados mediante el pilotaje, triangulación por expertos.

# Metodología

---

## Enfoque

La presente investigación empleó un enfoque cuantitativo, las herramientas y el análisis aplicado es desde un punto de vista ingenieril.

## Alcance

El alcance de este proyecto es correlacional, debido a que se buscó identificar y analizar las relaciones que existen entre las variables que están implicadas en el proceso de fabricación de placas vehicular en 3DP.

## Población

La población de este estudio comprendió diez placas vehiculares que son aptas, para ser impresas en impresoras 3D utilizando filamentos PETG reciclado.

## Muestreo

El tipo de muestreo que se empleó es no probabilístico por conveniencia debido a la disponibilidad del filamento PETG reciclado actualmente.

## Muestra

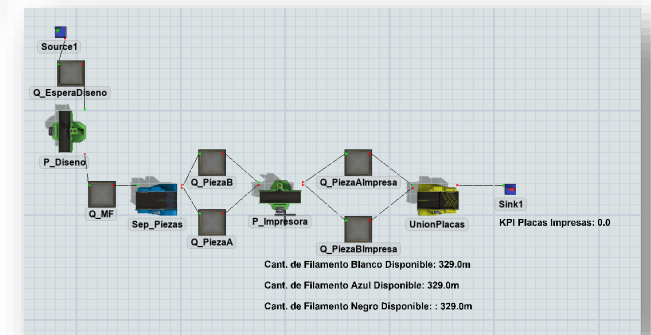
La muestra de la investigación consistió en la impresión física en 3D utilizando filamento PETG reciclado de seis placas vehiculares. La impresión en 3D de seis placas vehiculares permitió obtener datos tangibles en cuanto al consumo del material comparando y validando con los datos obtenidos en la predicción del software de impresión 3D.

# Instrumentos y técnicas de ingeniería aplicadas

CAD (Computer Aided Design)  
mediante SolidWorks



Simulación de procesos industriales  
mediante FlexSim



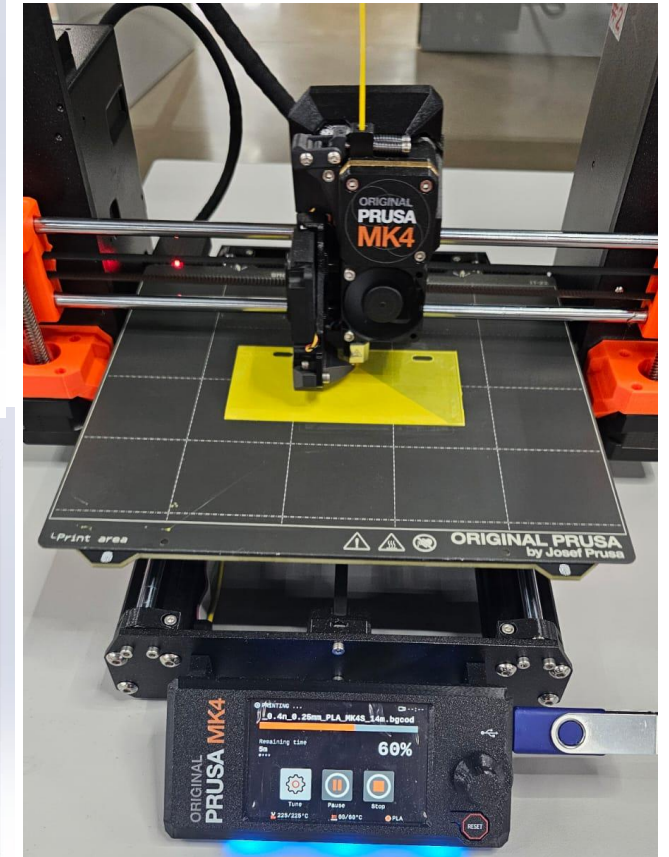
Ingeniería de costos

Artículo	Horas de Utilización por Impresión por Placa	Consumo Máximo Watts	Watts/Hr	Kw/HR	Costo Lempira por Kw/H	Consumo Energía Impresión (Lempiras)
Impresora Bambu Lab A1	5.06	350	1771	1.771	L6.24	L11.06

# Resultados del diseño en SolidWorks

Diseño y Modelado en Solidworks:  
Este proceso inició con el desarrollo del modelo base en SolidWorks, luego ese diseño fue impreso 3D para poder evaluar sus características y analizar puntos de mejoras en el diseño para que cumpliera con los estándares de las placas vehiculares.

Tras la evaluación en el primer pilotaje, se identificaron ajustes necesarios, se elaboró un segundo diseño más detallado y completo.



# Resultados del diseño en SolidWorks

Impresión 3D y Pruebas Físicas : Los resultados de las pruebas físicas de impresión proporcionaron información detallada sobre el comportamiento del filamento PETG reciclado y la calidad de las placas vehiculares impresas.

El ajuste de los parámetros de impresión en esta etapa permitió consolidar un equilibrio entre calidad, eficiencia y funcionalidad del proceso productivo.



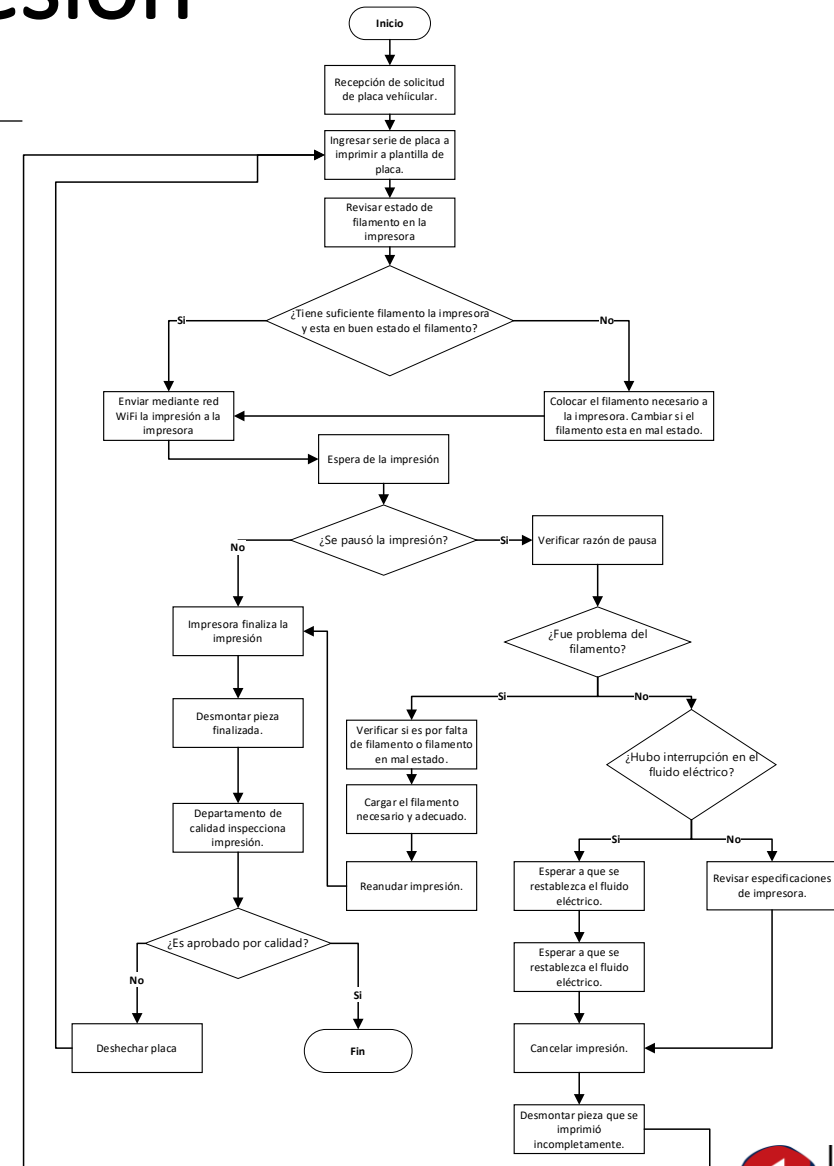
# Resultados del proceso de impresión

Datos Pieza A

Color Scheme		Filament		
Filament	Model	Flushed	Tower	Total
1	24.64 m	1.95 m	0.38 m	26.97 m
	74.08 g	5.87 g	1.14 g	81.08 g
2	5.94 m	0.91 m	0.25 m	7.10 m
	17.85 g	2.73 g	0.76 g	21.34 g
5	8.46 m	0.56 m	0.30 m	9.32 m
	25.45 g	1.68 g	0.91 g	28.03 g
Total		39.04 m	3.42 m	43.39 m
		117.37 g	10.28 g	130.45 g
Filament change times: 35				
Cost: 3.00				
<b>Time Estimation</b>				
Prepare time:		5m58s		
Model printing time:		3h48m		
Total time:		3h54m		

Datos Pieza B

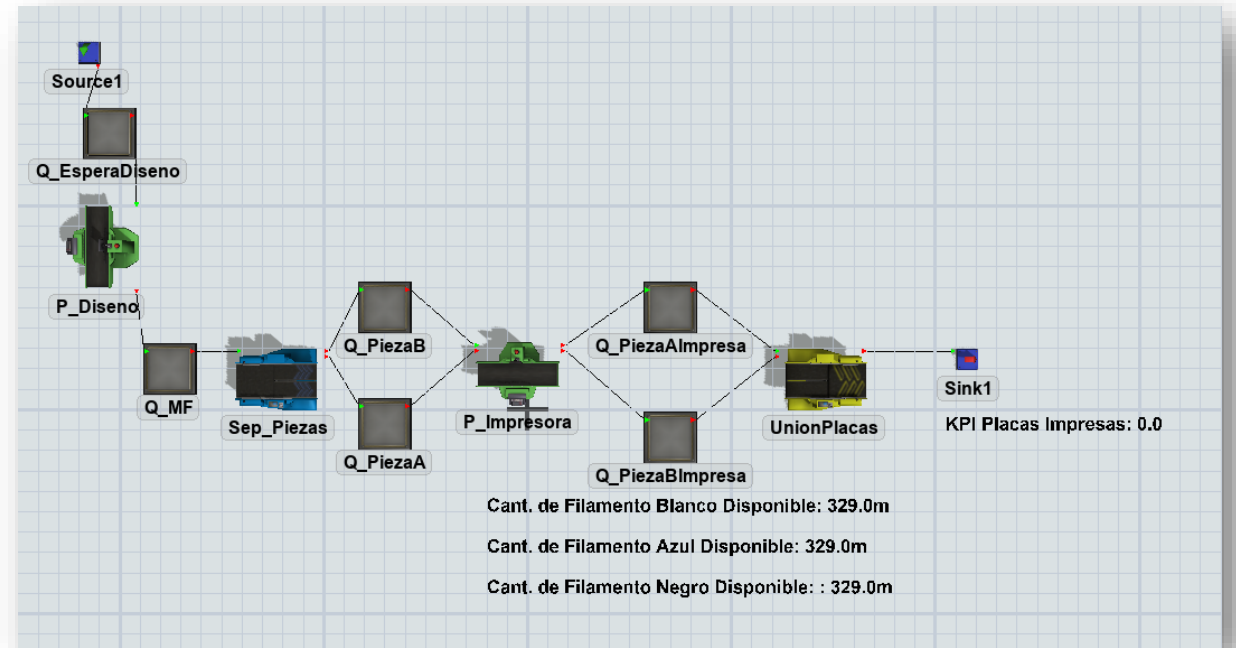
Color Scheme		Filament		
Filament	Model	Flushed	Tower	Total
1	4.59 m	1.79 m	0.39 m	6.76 m
	13.79 g	5.38 g	1.16 g	20.33 g
2	0.70 m	0.36 m	0.09 m	1.15 m
	2.12 g	1.09 g	0.26 g	3.47 g
5	1.74 m	0.51 m	0.34 m	2.60 m
	5.24 g	1.55 g	1.02 g	7.81 g
Total		7.03 m	2.67 m	10.51 m
		21.14 g	8.02 g	31.61 g
Filament change times: 27				
Cost: 0.73				
<b>Time Estimation</b>				
Prepare time:		5m58s		
Model printing time:		1h18m		
Total time:		1h24m		



# Resultados modelo de simulación

## Proceso Actual

Proceso	Representación en el modelo de simulación	Nombre de la representación en el modelo
Recepción de orden de placa vehicular	Source	Source
Espera para ingresar la serie en el diseño	Queue	Q_EsperaDiseño
Ingresar serie de placa requerida en el diseño	Processor	P_Diseño
División de piezas A y B para imprimir	Separator	Sep_Piezas
Espera de pieza A para ser impresa	Queue	Q_PiezaA
Espera de pieza B para ser impresa	Queue	Q_PiezaB
Impresión 3D	Processor	P_Impresora
Espera de pieza A para ser unida	Queue	Q_PiezaAlmpresa
Espera de pieza B para ser unida	Queue	Q_PiezaBlmpresa
Unión de piezas A y B	Combiner	UnionPlacas
Producto Terminado	Sink	Sink



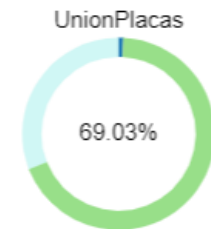
### Estado de la Impresora

■ Processing ■ Idle



### Estado de Unión

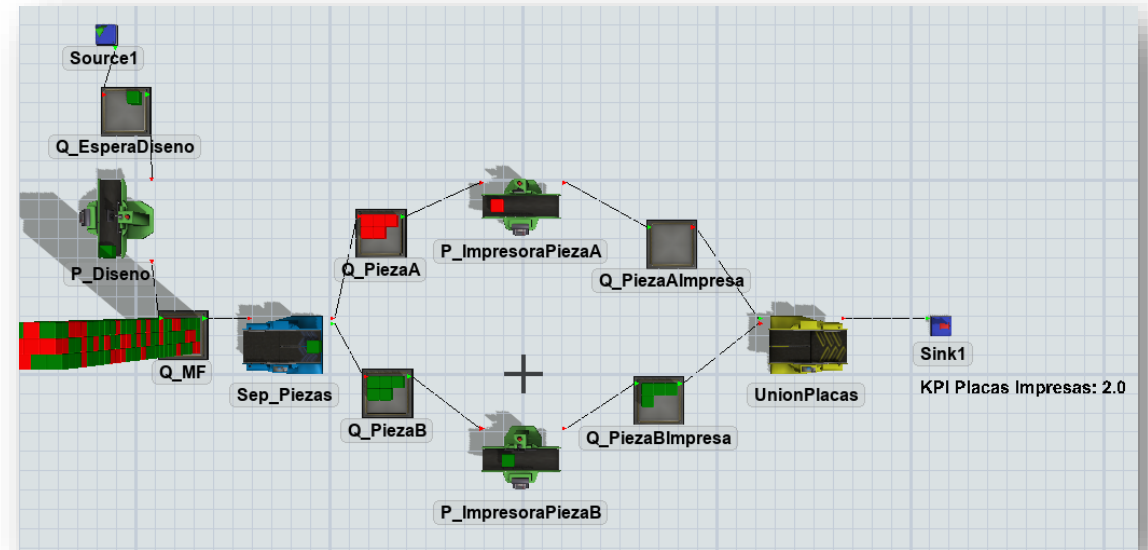
■ Processing ■ Collecting ■ Idle



# Resultados modelo de simulación

## Proceso Propuesto

Proceso	Representación en el modelo de simulación	Nombre de la representación en el modelo
Recepción de orden de placa vehicular	Source	Source
Espera para ingresar la serie en el diseño	Queue	Q_EsperaDiseño
Ingresa serie de placa requerida en el diseño	Processor	P_Diseño
División de piezas A y B para imprimir	Separator	Sep_Piezas
Espera de pieza A para ser impresa	Queue	Q_PiezaA
Espera de pieza B para ser impresa	Queue	Q_PiezaB
Impresión Pieza A	Processor	P_ImpresoraPiezaA
Impresión Pieza B	Processor	P_ImpresoraPiezaB
Espera de pieza A para ser unida	Queue	Q_PiezaAlmpresa
Espera de pieza B para ser impresa	Queue	Q_PiezaBlmpresa
Unión de piezas A y B	Combiner	UnionPlacas
Producto Terminado	Sink	Sink



# Resultado de costos

Color	Contenido Rollo Filamento (Gramos)	Consumo Filamento por Placa (Gramos)	Porcentaje del Rollo de Filamento Utilizado
Blanco	1000	101.598	10.16%
Azul	1000	27.983	2.80%
Negro	1000	45.97	4.60%

Proveedor	Descripción	Peso Unitario (KG)	Contenido por Unidad (Gramos)	Precio Unitario (Euros)	Precio (Lempiras)	Impuesto SV Costo Total (Lempiras)
Forma Futura	Filamento hecho a base de PetG reciclado, para la impresión 3D de las placas vehiculares.	1.4	1000	14.99	393.6374	L452.68

	Porcentaje del Rollo de Filamento Utilizado	Precio por Rollo de Filamento (Lempiras)	Costo Rollo Utilizado por Placa (Lempiras)
Blanco	10.16%	452.68	L45.99
Azul	2.80%	452.68	L12.67
Negro	4.60%	452.68	L20.81
Total			L79.47

Artículo	Horas de Utilización por Impresión por Placa	Consumo Máximo Watts	Watt s/Hr	Kw/H R	Costo Lempira por Kw/H	Consumo Energía Impresión (Lempiras)
Impresora Bambu Lab A1	5.06	350	1771	1.771	L6.24	L11.06

Costo Rollo Utilizado por Placa (Lempiras)	Consumo Energía Impresión (Lempiras)	Costo total de Placa
L79.47	L11.06	L90.53

# Validación de datos

---

## Pilotaje

El pilotaje del proyecto se realizó con respecto al diseño y fabricación de las placas en SolidWorks, realizando pilotajes de los diseños a menor escala con impresiones físicas para analizar características de mejora antes de ser impreso a mayor escala.

El modelo de FlexSim fue validado mediante pruebas estadísticas de prueba F para varianzas de dos muestras, se comparan los resultados simulados con los datos que fueron recolectados en el trabajo.

## Triangulación por expertos

Cuatro asesores contribuyeron en la revisión y análisis del estudio. Estos expertos abordaron aspectos fundamentales como el diseño asistido por computadora e impresión 3D, la simulación de procesos industriales utilizando FlexSim, y el análisis económico del proceso de fabricación.

La colaboración de estos especialistas aseguró que cada etapa del proyecto cumpliera con estándares técnicos y científicos, reforzando la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos.

# Conclusiones

1

Se estableció un proceso de fabricación eficiente para placas vehiculares utilizando impresión 3D con filamento PETG reciclado. El diseño en SolidWorks y las pruebas piloto permitieron determinar que un espesor de 4 mm asegura la resistencia estructural y funcionalidad necesaria para el uso vehicular.

2

Los análisis en FlexSim y las pruebas físicas identificaron que el tiempo de impresión de la Pieza A, con un promedio de 3 horas y 40 minutos, representa el cuello de botella principal. Esto evidencia la necesidad de mejorar la tecnología y planificar la capacidad productiva para satisfacer la demanda actual.

3

El modelo en FlexSim permitió validar que una configuración inicial con una sola impresora solo produce una placa por jornada laboral. La propuesta de separar estaciones para piezas A y B y añadir más impresoras duplicó la capacidad, alcanzando dos placas por jornada.

4

El costo promedio por placa es de 90.53 L, incluyendo filamento y electricidad, lo que refleja una solución económicamente viable al utilizar PETG reciclado en la fabricación de placas vehiculares.

### **Recomendaciones**

- Se sugiere ampliar el análisis de variables de impresión 3D explorando diferentes filamentos reciclados para evaluar su eficiencia y resistencia. También se recomienda rediseñar las placas para reducir los tiempos de impresión y utilizar impresoras industriales que permitan fabricar las placas completas sin dividir las en piezas separadas. Estas mejoras podrían agilizar la producción y aumentar la capacidad operativa.
- Las empresas encargadas de la producción de placas vehiculares deberían adoptar tecnologías de impresión 3D para reducir costos y minimizar el impacto ambiental. Se recomienda planificar la creación de plantas especializadas en impresión 3D que cumplan con estándares eléctricos y de temperatura adecuados.

### **Aplicabilidad / Implementación**

Los resultados del estudio sirven como base para tomar decisiones informadas sobre la producción de placas vehiculares con PETG reciclado mediante impresión 3D. Las herramientas y técnicas empleadas, como el diseño asistido por computadora y la simulación de procesos, son replicables para analizar la viabilidad de otros productos en manufactura aditiva.

### **Evolución del Trabajo**

El proyecto puede evolucionar mediante experimentos basados en diseño de experimentos para identificar ubicaciones óptimas para plantas de producción en el país. Asimismo, se podrían realizar pruebas mecánicas y físicas para evaluar la resistencia de las placas, fortaleciendo el enfoque técnico y práctico de la investigación.

# Referencias

- Al Rashid, A., & Koç, M. (2023). Additive manufacturing for sustainability and circular economy: Needs, challenges, and opportunities for 3D printing of recycled polymeric waste. *Materials Today Sustainability*, 24, 100529. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100529>
- Alonso, L. V. (2009). Ingeniería de Costos.
- Álvarez. (2011). *Herramienta para la estimación de costos en construcción de viviendas para la empresa Fomento Urbano S.A. Escuela de Ingeniería en Construcción de Costa Rica*. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6035/herramienta-estimaci%C3%B3n-costos-construcci%C3%B3n-viviendas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amazon.com: Glass Feel. (n.d.). Filamento PETG Reciclado Para Impresora 3D, 0.112 in, 35.27 Oz, Color Negro : Industrial y Científico. Retrieved November 15, 2024, from <https://www.amazon.com/-/es/FormFutura-Reforma-filamento-impresora-reciclado/dp/B08BS29TMJ?th=1>
- Auras, R., Lim, L. T., Selke, S. E., & Tsuji, H. (2016). Polyethylene Terephthalate (PET) Packaging. Wiley.
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). Discrete-event system simulation. Pearson.
- Barrios, C., & Miranda, M. (2006). Diseño de un sistema de uso didáctico para el análisis y cálculo de costos de producción (método tradicional) para la asignatura de ingeniería de costos de la facultad de ingeniería industrial de la Universidad Simón Bolívar. Universidad Simón Bolívar.
- Beltrán, J. (2023). *Metodología y/o factibilidad del aprovechamiento de material (PLA, PETG) residual en la manufactura aditiva. Universidad Tecnológica de Pereira*. Recuperado de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/9d1486cc-14a4-42aa-9bdb-960851038d70/content>
- Bolaños Zea, J. J. G. (2019). Reciclado de plástico PET. Universidad Católica San Pablo. <https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/4c9ed418-f907-4257-9c53-6046d5696c8f/content>
- Cabrera, N. O. (n.d.). Recyclable all-polypropylene composites : concept, properties and manufacturing. Eindhoven University of Technology Research Portal. Retrieved August 19, 2024, from [https://research.tue.nl/en/publications/recyclable-allpolypropylene-composites--concept-properties-and-manufacturing\(f3c07920-4938-47b4-9050-7621d417e808\).html](https://research.tue.nl/en/publications/recyclable-allpolypropylene-composites--concept-properties-and-manufacturing(f3c07920-4938-47b4-9050-7621d417e808).html)
- Chopra, S., & Meindl, P. (2021). Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation (8va ed.). Pearson.
- C. Mazariegos-Ortíz, L. García-Arroyave, C. Marroquín-Mora, & A. L. Mendizábal. (2021). Contaminación por microplásticos en playas del Pacífico de Guatemala: abundancia y características. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 8(2), 260–268. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v8i2.904>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition.
- Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). (n.d.). Implementación de filamentos reciclados para impresión 3D. Repositorio Institucional. Recuperado de <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/088e76ec-6c78-4762-a6a5-1ff01ee6257b/content>
- Escuela Politécnica Nacional. (n.d.). Análisis del uso de PET reciclado en la impresión 3D. Repositorio Institucional. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/25783/1/CD%2014500.pdf>
- Excel Applications for Estimation of Costs. (2003). Cost estimation techniques using MS Excel. Google Books. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bQp4o19EzYUC&oi=fnd&pg=PA10&dq=ms+excel+para+estimacion+de+costos&ots=HBapTsFelB&sig=2Sjg7V0jQPuf57TlnuCWwTE9\\_#v=onepage&q=ms%20excel%20para%20estimacion%20de%20costos&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bQp4o19EzYUC&oi=fnd&pg=PA10&dq=ms+excel+para+estimacion+de+costos&ots=HBapTsFelB&sig=2Sjg7V0jQPuf57TlnuCWwTE9_#v=onepage&q=ms%20excel%20para%20estimacion%20de%20costos&f=false)
- FlexSim Software Products, Inc. (2022). FlexSim Simulation Software: Features and Capabilities. <https://www.flexsim.com>
- Gebler, M., Uiterkamp, A. J. M. S., & Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74, 158–167.
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. Springer.
- Glasson, J., Therivel, R., & Chadwick, A. (2012). Introduction to environmental impact assessment. Routledge.
- Guaminga. (2024). *Estudio del comportamiento mecánico en probetas de material termoplástico PETG obtenidas por impresión aditiva 3D y tratadas técnicamente. Escuela Politécnica Nacional*. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/25783/1/CD%2014500.pdf>
- Harrington, H. J. (1991). Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity, and Competitiveness. McGraw-Hill.
- Harrington, H. J. (1991). Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity, and Competitiveness. McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio. (2018). Metodología de la Investigación. McGraw-Hill.
- Herzog Cruz. (2022). Estudio del efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas de probetas de PET-G fabricadas mediante modelado por deposición fundida. Universidad de La Laguna. Recuperado de <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/30297>
- Hornrgren, C. T., Datar, S. M., & Rajan, M. V. (2014). Cost Accounting: A Managerial Emphasis (15ta ed.). Pearson.
- Impresora 3D Bambu Lab A1. (n.d.). Bambu Lab EU. Retrieved November 15, 2024, from <https://eu.store.bambulab.com/es-es/products/a1>
- Instituto de la Propiedad de Honduras. (2023). Misión, visión y objetivos. <https://www.ip.gob.hn>
- LaPrensa.hn. (2023, December 6). Hasta marzo de 2024 habrá placas para carros en Honduras. La Prensa. <https://www.laprensa.hn/sanpedro/honduras-placas-carros-permisos-digitales-sanpedrosula-ip-transito-1A16521889>
- Law, A. M. (2014). Simulation Modeling and Analysis (5ta ed.). McGraw-Hill.
- Marín, N., Serrano, M., Serrano, M., & Jaén, A. (2021). Propuesta de materiales reciclables para la fabricación de placas vehiculares en la República de Panamá. *Revista De Iniciación Científica*, 7(1), 54–59. <https://doi.org/10.33412/rev-riv.v7.1.3059>
- McCauley, D. J. (2006). Selling out on nature. *Nature*, 443(7114), 27–28. <https://doi.org/10.1038/443027a>
- Mundo, E. (2023, 29 de junio). Escasez de placas de vehículos en Honduras genera preocupación en importadores. *Diario El Mundo*. <https://elmundo.hn/la-escasez-de-placas-de-automoviles-genera-preocupacion-en-el-sector-importadores-exigen-soluciones/>
- Original Prusa MK4S 3D Printer. (n.d.). Prusa3D by Josef Prusa. Retrieved November 15, 2024, from <https://www.prusa3d.com/product/original-prusa-mk4s-3d-printer-5/>
- Quevedo, & Bonilla. (2021). Caracterización de las propiedades mecánicas del copolímero PETG mediante impresión FDM 3D. Universidad Francisco José de Caldas. Recuperado de <https://repositorio.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/c28d0604-af60-4b19-9e38-d5318ff3b865/content>
- Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, 7(1), 12–24. <https://doi.org/10.1057/jos.2012.6>
- Sosa, G. (2024). Feasibility of manufacturing and utilizing recycled PET 3D printing filaments through design of experiments. Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC).
- Toro. (2007). Costos y presupuestos con base en tareas. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bQp4o19EzYUC&oi=fnd&pg=PA10&dq=ms+excel+para+estimacion+de+costos&ots=HBapTsFelB&sig=2Sjg7V0jQPuf57TlnuCWwTE9\\_#v=onepage&q=ms%20excel%20para%20estimacion%20de%20costos&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bQp4o19EzYUC&oi=fnd&pg=PA10&dq=ms+excel+para+estimacion+de+costos&ots=HBapTsFelB&sig=2Sjg7V0jQPuf57TlnuCWwTE9_#v=onepage&q=ms%20excel%20para%20estimacion%20de%20costos&f=false)
- Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (n.d.). Propuesta de modelo de simulación para optimización de procesos industriales. Repositorio Institucional. Recuperado de <https://repositorio.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/c28d0604-af60-4b19-9e38-d5318ff3b865/content>