



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**UNITEC**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I**

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

**PRESENTADO POR:**

**12041073 ALEJANDRA ISABELLA SÁNCHEZ VILLEDA**

**11941181 GUSTAVO ANDRÉS ROSALES CADENAS**

**ASESORA METODOLÓGICA:**

**INGENIERA PAOLA PASCUA**

**CAMPUS TEGUCIGALPA, 19 DE DICIEMBRE, 2024**

## RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se enfoca en una alternativa para la fabricación de placas vehiculares en Honduras. La alternativa propuesta es mediante la impresión 3D con filamento PETG reciclado y uso de simulación de procesos industriales para optimizar el flujo de trabajo. En la etapa inicial de esta investigación se elaboró el diseño inicial de las placas en SolidWorks que posteriormente se ejecutó la impresión y se realizaron ajustes en impresoras 3D como la Bambu Lab A1, con el fin de garantizar buena adherencia entre capas y calidad estructural. Mediante ingeniería de costos, se realizó el análisis de viabilidad económica de la manufactura de placas vehiculares con PETG reciclado, demostrando que esta alternativa permite reducción de costos y promover un modelo de manufactura aditiva siendo sostenible. Las etapas críticas del proceso, que fueron respaldadas por simulación de procesos con el uso de FlexSim, fueron identificadas y proporcionó información clave que son contempladas para futuras implementaciones en mayor escala. De esta manera de ofrecer una solución económica y ambientalmente responsable ante la crisis de escasez de material para la emisión de placas vehiculares en el país.

Palabras clave: Impresión 3D, filamento de PETG reciclado, simulación de procesos industriales, manufactura aditiva, ingeniería de costos.

## **ABSTRACT**

This research focuses on an alternative for the manufacture of vehicle license plates in Honduras. The proposed alternative is through 3D printing with recycled PETG filament and the use of industrial process simulation to optimize the workflow. In the initial stage of this research, the initial design of the plates was elaborated in SolidWorks and then the printing was executed, and adjustments were made in 3D printers such as Bambu Lab A1, in order to ensure good adhesion between layers and structural quality. By means of cost engineering, the economic feasibility analysis of the manufacture of vehicle license plates with recycled PETG was carried out, demonstrating that this alternative allows cost reduction and promotes a sustainable additive manufacturing model. The critical stages of the process, which were supported by process simulation with the use of FlexSim, were identified and provide key information that are contemplated for future implementations on a larger scale. In this way to offer an economically and environmentally responsible solution to the crisis of material shortage for the issuance of vehicle license plates in the country.

Keywords: 3D printing, Recycled PETG filament, Process simulation, Additive manufacturing, Cost engineering.

## GLOSARIO

**Análisis de procesos:** El análisis de procesos implica el estudio detallado de un flujo de trabajo para detectar cuellos de botella, ineficiencias y oportunidades de mejora, con el objetivo de optimizar la productividad del sistema. Es fundamental para mejorar el rendimiento y reducir desperdicios en los procesos de manufactura. (Harrington, 1991).

**Cadena de suministro:** La cadena de suministro abarca todas las actividades involucradas en llevar un producto desde los proveedores de materias primas hasta el cliente final. Esto incluye la adquisición, producción y distribución, asegurando que los productos se entreguen de manera eficiente y efectiva. (Chopra & Meindl, 2021).

**Costos de producción:** Los costos de producción representan los gastos necesarios para fabricar un producto, incluyendo materiales, energía, mano de obra y costos indirectos. Controlar estos costos es crucial para la viabilidad económica de cualquier proceso productivo. (Horngren, Datar, & Rajan, 2014).

**Economía circular:** La economía circular es un modelo de producción y consumo diseñado para reducir el uso de recursos naturales y minimizar desechos. Fomenta el reciclaje y la reutilización de materiales, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental en un ciclo continuo. (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

**Filamento PETG reciclado:** El filamento PETG reciclado es un material de impresión 3D hecho de polietileno tereftalato glicolizado (PETG) reciclado. Este filamento conserva propiedades mecánicas adecuadas para aplicaciones que requieren resistencia estructural y es una opción sostenible en la fabricación aditiva. (Gebler, Uiterkamp, & Visser, 2014).

**FlexSim:** FlexSim es un software de simulación de procesos industriales que permite modelar, analizar y optimizar sistemas productivos. Facilita una planificación eficiente mediante la comprensión detallada de los flujos de trabajo. (FlexSim Software Products, Inc., 2022).

**Impresión 3D:** La impresión 3D es una tecnología de fabricación aditiva que permite crear objetos tridimensionales mediante la superposición de capas de material. Este proceso se basa en modelos digitales, ofreciendo flexibilidad y personalización en la producción. (Gibson, Rosen, & Stucker, 2015).

**Instituto de la Propiedad (IP):** El Instituto de la Propiedad es la entidad gubernamental en Honduras que regula la propiedad intelectual y vehicular, incluyendo la emisión y administración de placas vehiculares, contribuyendo a la organización del sistema de transporte. (Instituto de la Propiedad de Honduras, 2023).

**Simulación de procesos:** La simulación de procesos permite replicar y analizar un sistema productivo en un entorno virtual, lo que facilita la optimización sin pruebas físicas. Es clave para mejorar la eficiencia y predecir el rendimiento del sistema. (Law, 2014).

## **SIGLAS**

**IP:** Instituto de la Propiedad

**PETG:** Polietileno Tereftalato Glicolisado

**CAD:** Diseño Asistido por Computadora (Computer-Aided Design)

**FDM:** Modelado por Deposición Fundida (Fused Deposition Modeling), técnica de impresión 3D

**3DP:** Impresión 3D (3D Printing)

**KPI:** Indicador clave de desempeño (Key Performance Indicator)

# ÍNDICE

Resumen Ejecutivo.....	I
ABSTRACT.....	II
Índice de Tabla.....	IX
Índice de Diagrama.....	IX
Índice de Anexos .....	X
I. Introducción.....	1
II. Planteamiento del problema.....	3
2.1 Precedentes del Problema.....	3
2.2 Definición del Problema.....	5
2.3 Justificación del proyecto de investigación.....	5
2.4 Preguntas de Investigación .....	7
2.5 Objetivos.....	7
2.5.1 Objetivo General.....	7
2.5.2 Objetivos Específicos.....	7
III. Estado del Arte .....	8
3.1 Plástico PETG.....	8
3.2 Filamento de Plástico PETG Reciclado .....	8
3.3 Ingeniería de costo.....	9
3.4 Simulación de sistemas industriales.....	10
3.5 Impresión 3D.....	10
3.6 Cálculo de Estimación de Costos en un Proyecto.....	11
3.6.1 MS EXCEL.....	11
3.7 Manufactura Aditiva .....	12
IV. Metodología.....	13
4.1 Enfoque.....	13
	VI

4.1.1	Alcance.....	13
4.2	Variables de Investigación.....	13
4.2.1	Variables Independientes.....	13
4.2.2	Variables Dependientes.....	14
4.3	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	14
4.3.1	Instrumentos.....	14
4.3.2	Técnicas.....	14
4.4	Materiales.....	15
4.5	Población y Muestra.....	15
4.5.1	Población.....	15
4.5.2	Muestreo.....	15
4.5.3	Muestra.....	15
4.6	Metodología de Estudio.....	15
4.7	Metodología de Validación.....	16
4.8	Cronograma de Actividades.....	18
V.	Resultados y Análisis.....	19
5.1	Diseño y Modelado en SolidWorks.....	19
5.1.1	Pilotaje del Diseño e Impresión 3D para Validación.....	19
5.1.1.1	Pilotaje del Diseño en SolidWorks.....	19
5.1.1.2	Pilotaje del Diseño en Impresora 3D.....	21
5.1.2	Configuración de las Pruebas de Fabricación Definitivas.....	24
5.1.3	Resultados de las Pruebas Físicas.....	25
5.2	Análisis de Flujo de Procesos de Impresión.....	29
5.2.1	Desglose del Proceso de Fabricación.....	29
5.2.2	Identificación de Etapas Críticas.....	31
5.3	Modelo de Simulación en FlexSim.....	31

5.3.1	Pilotaje de modelo de simulación en FlexSim .....	31
5.3.1.1	Formulación del modelo de simulación en FlexSim.....	32
5.3.1.2	Validación del modelo de Simulación.....	35
5.4	Resultados de Simulación en FlexSim .....	37
5.4.1	Resultado de Situación Actual.....	37
5.4.2	Situación Propuesta y Resultados .....	39
5.5	Viabilidad Económica..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
5.5.1	Análisis de Costo por Placa .....	41
5.6	Validación de la investigación .....	43
5.6.1	Validación mediante pilotaje .....	43
5.6.2	Triangulación Con Expertos.....	44
VI.	Conclusiones .....	45
<b>6.1</b>	<b>CONCLUSIÓN GENERAL</b> .....	46
<b>6.2</b>	<b>CONCLUSIONES PARCIALES</b> .....	45
VII.	Recomendaciones.....	47
7.1	Recomendaciones de Investigación .....	47
7.2	Recomendaciones para el Rubro o Grupo de Empresas .....	47
VIII.	Aplicabilidad /Implementación.....	48
IX.	Evolución del trabajo actual/ Futuro.....	48
	Referencias.....	49
	Anexos.....	52

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Cronograma de actividades.....	18
Tabla 2 Representación de procesos en el modelo de simulación.....	32
Tabla 3 KPI Placas Impresas .....	36
Tabla 4 Prueba F para varianzas de dos muestras.....	36
Tabla 5 Prueba T para muestras de varianzas iguales.....	36
Tabla 6 Representación de procesos en el modelo de simulación propuesto.....	39
Tabla 7 Consumo en Gramos de Filamento por Color.....	41
Tabla 8 Precio por Rollo de Filamento.....	42
Tabla 9 Porcentaje de Rollo utilizado por Color .....	42
Tabla 10 Costo de rollo utilizado por placa.....	42

## ÍNDICE DE DIAGRAMA

Ilustración 1 Diseño preliminar en SolidWorks.....	20
Ilustración 2 Diseño final en SolidWorks.....	21
Ilustración 3 Pilotaje 3DP Prusa MK4 .....	22
Ilustración 4 Pilotaje 3DP Bambu Lab A1 .....	23
Ilustración 5 Especificaciones utilizadas en Bambu Lab A1 .....	24
Ilustración 6 Pantalla de Bambu Lab A1 con especificaciones térmicas .....	25
Ilustración 7 Cantidad de filamento y tiempo utilizado por la pieza A.....	26
Ilustración 8 Cantidad de filamento y tiempo utilizado por pieza B.....	27
Ilustración 9 Resultado de placa vehicular en 3DP.....	28
Ilustración 10 Modo de visualización de tiempos en el modelo.....	33
Ilustración 11 Distribución impresión Pieza A .....	33
Ilustración 12 Distribución impresión Pieza B.....	34
Ilustración 13 Distribución de tiempo de unión.....	34
Ilustración 14 Modelo de simulación visualización técnica .....	35
Ilustración 15 Resultado Modelo Actual.....	37
Ilustración 16 Estado de tiempo .....	38
Ilustración 17 Resultado del modelo propuesto.....	39
Ilustración 18 Estado de tiempo modelo propuesto .....	40

Ilustración 19 Escenarios propuestos .....	41
--	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Impresora 3D Prusa MK 4 .....	52
Anexo 2 Impresora 3D Bambu Lab A1 .....	52
Anexo 3 Filamento PETG reciclado .....	53
Anexo 4 Dimensiones de diseño preliminar de placas en SolidWorks (dimensiones en cm)..	53
Anexo 5 Dimensiones de diseño final de placas en SolidWorks (dimensiones en cm) .....	55
Anexo 6 Realización de pilotaje en Prusa MK4 .....	57
Anexo 7 Diseño preliminar impreso Prusa MK4.....	58
Anexo 8 Diseño final impreso Prusa MK4.....	58
Anexo 9 Revisión de la impresora Bambu Lab A1 .....	59
Anexo 10 Montar filamento de colores correctos a la impresora.....	59
Anexo 11 Resultado de pilotaje en impresora Bambu Lab A1.....	60
Anexo 12 Diseño final impreso en Bambu Lab A1 .....	60
Anexo 13 Tabla de consumo promedio de filamento pieza A.....	61
Anexo 14 Tabla de consumo promedio de filamento pieza B.....	62

## I. INTRODUCCIÓN

La escasez de materiales para la fabricación de placas vehiculares en Honduras ha generado complicaciones en la seguridad vial y la gestión del sistema de transporte. La falta de recursos y una deficiente planificación en los procesos de licitación han llevado al Instituto de la Propiedad (IP) a emitir identificaciones provisionales en papel, incrementando la inseguridad y afectando la eficiencia del sistema vehicular. Esta crisis impacta especialmente a la población de Tegucigalpa, donde las placas de metal han sido reemplazadas por soluciones menos seguras, causando descontento entre los ciudadanos.

Este proyecto se desarrollará en colaboración con el Instituto de la Propiedad y tiene como objetivo principal proponer la utilización de materiales reciclables, específicamente filamento de PETG reciclado, en la fabricación de placas vehiculares mediante impresión 3D y simulación de procesos. Se buscará resolver la escasez de placas y contribuir a la reducción de residuos sólidos, alineándose con las tendencias hacia una economía circular.

El enfoque será cuantitativo, centrado en la recolección y análisis de datos mediante técnicas de impresión 3D y simulación con el software FlexSim. Se evaluará la viabilidad del uso de polímeros reciclados, se realizará el proceso de fabricación y se buscará la reducción de los costos de producción. La población de estudio consiste en 10 placas de filamento PETG reciclado, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico.

Las técnicas incluirán pruebas físicas de impresión 3D, simulaciones en FlexSim y análisis de procesos industriales. Los instrumentos abarcan impresoras 3D y software de simulación. Se llevará a cabo una consulta con expertos para validar los resultados y asegurar que el proceso cumple con los estándares de viabilidad y eficiencia. Este estudio abordará la necesidad urgente de solucionar la escasez de placas vehiculares en Honduras, ofreciendo una alternativa sostenible que mejora la disponibilidad y promueve la reutilización de materiales reciclados, contribuyendo a la protección del medio ambiente.

El informe se organizará en ocho capítulos, en el capítulo II se hablará del planteamiento del problema, en el capítulo III se dedica a la exposición del Estado del Arte. El capítulo IV describirá la metodología utilizada para realizar la investigación. Posteriormente, en el capítulo V se presentarán los resultados obtenidos y se describirá el análisis realizado. Las conclusiones serán contenidas en el capítulo VI, mientras que las recomendaciones serán localizadas en el

capítulo VII. El capítulo VIII pretende evaluar la aplicabilidad de los hallazgos y en el IX Evolución del trabajo actual y trabajo futuro.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

En la Universidad de Pereira en Colombia se realizó una propuesta para reducir el costo de la fabricación de filamentos, al igual que estudiar viabilidad del uso de polímeros que se obtienen a partir de material reciclado en el proceso de la manufactura aditiva. Durante la investigación se trabajó en un método de creación de filamento a partir de material utilizado en impresiones pasadas a base de PLA y plástico PETG. La Universidad Tecnológica de Pereira utiliza un número importante de impresoras 3D para producción de piezas y prototipos para enseñanzas de ingeniería, estos procedimientos generan residuos que se pueden reutilizar para fabricar filamentos (Beltrán, 2023).

Por su parte en Catar un estudio demostró que el uso de productos basados en polímeros ha aumentado exponencialmente a nivel mundial causando impactos negativos en áreas ecológicas, sociales, ambientales, salud y económicas. Para afrontar este problema, existe un impulso a nivel mundial para crear soluciones hacia la producción, consumo y gestión de residuos plásticos sostenibles. Los procesos de la impresión 3D ofrece ventajas como a rápida fabricación de partes funcionales, tiempos de entrega más cortos y menores costos en investigación y desarrollo. Estos procesos se están adoptando en diversos sectores industriales como la aeroespacial, automotriz, biomédica, deportiva, alimentaria, electrónica y construcción. Al Rashid, A., & Koç, M. (2023)

En Panamá se realizó un estudio como propuesta para la elaboración de placas vehiculares con materiales reciclados. El objetivo principal de la investigación es realizar una propuesta para aprovechar materiales reciclables para la elaboración de placas vehiculares en Panamá. Se evalúan las propiedades mecánicas de los materiales: aluminio reciclado y rPET reciclado. La investigación concluyo que con la implementación de distintos procesos estos materiales pueden ser utilizables para fabricar placas vehiculares , reduciendo la cantidad de desechos que se producen Marín, N., Serrano, M., Serrano, M., & Jaén, A. (2021).

Por su parte también dentro de Latinoamérica en la Ciudad de México se realizó una investigación para poder reconocer las placas vehiculares a distancia y de forma electrónica. Se realizo un análisis del flujo vehicular que cada vez va más en aumento en todas las zonas de la Ciudad de México, en una ciudad con mucho transito el monitoreo del flujo vehicular

para poder tener un control sobre las zonas más transitadas. El objetivo de la investigación es implementar un sistema de reconocimiento de placas que permita solventar problemas como estacionamientos, exceso de velocidad, accidentes, robos de vehículo entre otros (Delgado ,2010).

El presidente de la Asociación Nacional de Industriales (ANDI) se ha cuestionado la falta placas vehiculares en el país. La falta de placas genera un problema de inseguridad en Honduras, ya que un vehículo sin placa puede ser un móvil para cometer un delito igualmente, que sufrir un accidente no se tiene la posibilidad de identificar al vehículo (Proceso Digital, 2024). De igual forma en una investigación realizada en la Universidad Tecnológica Centroamericana en Tegucigalpa, demostró la factibilidad de desarrollar filamentos hechos a base de plástico PET reciclado para la impresión 3D. El filamento demostró ser factible para la impresión 3D y tener las propiedades requeridas. (Sosa, 2024).

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

En la actualidad el Instituto de la Propiedad (IP) en Honduras enfrenta una crisis debido a la falta de material para entregar placas vehiculares a los ciudadanos. El alto costo del material ofrecido por compañías internacionales y problemas administrativos han sido el mayor causante para esta crisis que lleva más de un año y medio. La escasez de las placas ha causado problemas de seguridad a nivel nacional y un malestar general en la población.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación aborda una problemática de gran relevancia en Honduras: la escasez de materiales para la producción de placas vehiculares. Esta situación ha generado retrasos significativos y dificultades para los propietarios de vehículos, quienes reciben identificaciones provisionales en papel en lugar de las placas metálicas tradicionales, lo que representa un riesgo para la seguridad y genera incertidumbre en la población (Mundo, 2023).

Es altamente conveniente llevar a cabo esta investigación, ya que propone una solución innovadora y sostenible que no solo aborda la escasez de materiales, sino que también contribuye a mitigar los impactos ambientales asociados con la producción convencional de placas vehiculares. Al utilizar materiales reciclables, se promueve una economía circular que fomenta el aprovechamiento de residuos y reduce la acumulación de desechos sólidos en el país.

Los beneficios que se derivan de esta propuesta son alcanzables. En primer lugar, se realizará una propuesta para la elaboración de las placas vehiculares en el país. En segundo lugar, la búsqueda de implementación de materiales reciclables en la fabricación de placas puede contribuir a la reducción de residuos, promoviendo prácticas sostenibles y responsables con el medio ambiente (Marín et al., 2021).

Estudios previos han demostrado la viabilidad del uso de materiales reciclados en la fabricación de placas vehiculares. Por ejemplo, en Panamá se realizó una propuesta similar que evidenció la posibilidad de mantener la calidad y durabilidad requeridas utilizando materiales reciclables (Marín et al., 2021). Este antecedente respalda la factibilidad de

nuestra propuesta y su potencial impacto positivo en la gestión de residuos y la sostenibilidad ambiental.

A nivel global, existe una tendencia creciente hacia la utilización de materiales reciclados en diversos sectores industriales, con el fin de reducir la huella ambiental y promover prácticas sostenibles (Al Rashid & Koç, 2023). Al alinearse con estas tendencias, Honduras no solo resolvería un problema local, sino que también contribuiría a los esfuerzos internacionales por mitigar el impacto ambiental y promover el desarrollo sostenible.

## **2.4 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?

## **2.5 OBJETIVOS**

### **2.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta de fabricación de placas vehiculares en Tegucigalpa, Francisco Morazán utilizando filamento de plástico PETG reciclado en impresión 3D mediante el uso de simulación de sistemas industriales.

### **2.5.2 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 el costo de material para la 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.

### **III. ESTADO DEL ARTE**

#### **3.1 PLÁSTICO PETG**

El polietileno tereftalato de glicol (PETG) es un polímero a base de copoliéster que es derivado del polietileno tereftalato (PET). A diferencia del PET, el polietileno tereftalato contiene glicol añadido y no presenta cristalización inducida por deformación. Los usos más comunes del PETG es en las industrias médica, alimentarias, electrónicas entre otras, esto debido a su tenacidad y resistencia química. La estructura lineal del polímero hace que el PetG sea un material muy bueno para el termoformado y moldeo debido al rango de las temperaturas de trabajo (Guaminga, 2024).

El PETG es una alternativa de gran interés a nivel industrial para distintos usos, debido a sus características que son ventajosas con respecto a otros materiales. Parte de estas ventajas es su bajo costo de obtención, su posibilidad de ser reciclado, sus propiedades físicas aceptables al igual que su capacidad de biocompatibilidad. El PETG es un material que soporta mayores tensiones mecánicas, por lo cual es ideal para piezas que deben ser robustas. De igual forma el PETG tiene un punto de fusión más alto que el PLA , lo cual significa que soporta temperaturas más altas sin sufrir deformaciones (Herzog Cruz, 2022).

Los estudios realizados con el PETG demuestran que es un material que es un material con gran resistencia química, al igual que soporta temperaturas altas y tensiones mecánicas. La posibilidad del PETG de ser reciclado lo convierte en un material ideal para la presente investigación, en la cual se utilizará plástico PETG reciclado para la elaboración de placas vehiculares en Honduras. Gracias a estos estudios se decidió que el material a utilizar sea el PETG, un material resistente a distintas condiciones a las que puede estar expuesta una placa vehicular.

#### **3.2 FILAMENTO DE PLÁSTICO PETG RECICLADO**

El filamento de plástico PETG reciclado es un material para la impresión 3D que se logra obtener a partir de botellas, envases y otros plásticos desechados. Se obtiene a través de un proceso de triturado, extrusión y bobinado para poder obtener el hilo de calidad (Sánchez, 2024). El PETG es el copolímero que más se utiliza en la impresión 3D, esto debido a la combinación de PET con glicol lo cual mejora sus propiedades mecánicas. Debido a su facilidad

de extrusión y estabilidad térmica, el PETG es cada vez más utilizado en la industria de la impresión 3D. (Quevedo & Bonilla, 2021).

Una investigación realizada en Tegucigalpa ha permitido al investigador conocer la factibilidad de manufacturar filamento de plástico PET reciclado y utilizarlo para la impresión 3D. El estudio consistió en utilizar botellas de plástico utilizadas para refresco, para luego pasar por todo el debido proceso de reciclaje y elaborar un filamento que se utilizaría para impresión 3D. El estudio concluyó que manufacturar y utilizar filamento de plástico PET reciclado es viable en Honduras, de igual forma se fomenta el reciclaje entre los estudiantes y la facultad. (Sosa, 2024)

En el contexto de esta investigación se utilizará filamento de plástico PETG reciclado para la impresión de las placas vehiculares. El filamento será completamente reciclado para poder ofrecer una alternativa completamente amigable con el medio ambiente al igual que esta pueda ser una solución para la falta de placas vehiculares en Honduras. El reciclaje del PET representa una ayuda a los desperdicios que se generan a diario en el país, también una forma de reducir costos de producción. Se diseñará la placa respecto a sus medidas estándar para luego poder utilizar el filamento para imprimirlas de forma 3D.

### **3.3 INGENIERÍA DE COSTO**

La ingeniería de costos es una práctica de ingeniería que está enfocada en la gestión de proyectos, incluye actividades como ser la estimación, control y evaluación de inversiones. En la ingeniería de costos se planifica y se monitorea la inversión estimada a realizar en un proyecto de ingeniería, se busca el equilibrio entre balance de costos, calidad y el tiempo a realizar la obra. El objetivo principal es acercarse lo más posible a la estimación de costos y duración del proyecto a realizar. (Barrios & Miranda, 2006).

La estimación de costos implica un cálculo de lo que habrá de hacer a lo largo del proyecto. La ingeniería de costos ha generado una tendencia a nivel mundial, donde se analizan costos seguidamente sobre todo en el sector público. Se utiliza igualmente muy a menudo en licitaciones internacionales, donde participen consultoras y constructoras de distintos países en los que se presentan estimaciones de costos para un determinado proyecto. (Varela, 2009)

En la investigación a realizar, la ingeniería de costos servirá para poder estimar costos de impresión de placas a nivel de Tegucigalpa que sean elaboradas con filamentos de plástico

PET reciclado. Se estimarán los costos en base al consumo que se tenga en la impresión de las placas vehiculares , por medio de una simulación también se estimara el tiempo que tomaría elaborar la cantidad de placas necesarias para abastecer la demanda.

### **3.4 SIMULACIÓN DE SISTEMAS INDUSTRIALES**

La simulación se puede definir como la imitación del proceso de un sistema a lo largo del tiempo. Según Law y Kelton (2000) , el principal motivo de la simulación es estudiar el comportamiento de un sistema bajo ciertas condiciones que no afecten el sistema real. La simulación se utiliza mayormente en la planificación y en los diseños de sistemas industriales, para una mejor toma de decisiones estratégicas. (Sargent , 2013).

La simulación se utiliza en diversos sistemas industriales como ser ; la fabricación , logística y en la gestión de la cadena de suministro. A pesar de los distintos beneficios que ofrece la simulación , enfrente ciertos obstáculos como la validación de modelos al igual que la integración junto con otros sistemas de gestión. Un estudio menciona que la validación es fundamental para poder garantizar que el modelo que está siendo simulado refleje la realidad de la situación. (Banks, 2010)

Para efectos de la investigación actual la simulación será utilizada para estudiar los tiempos de fabricación de placas durante una determinada cantidad de tiempo. La simulación de igual forma servirá para poder determinar cantidad de máquinas a utilizar, se validará el modelo en base al tiempo de producción de cada placa impresa. Una vez validado el sistema se podrá empezar la simulación por medio del programa FlexSim.

### **3.5 IMPRESIÓN 3D**

La impresión 3D es el proceso de imprimir objetos tridimensionales mediante adición de capas sucesivas de un determinado material. Hay distintas tecnologías de impresión 3D como ser : estereolitografía (SLA) , modelación por deposición fundida (FDM) y la sinterización selectiva por láser (SLS) (Gibson, 2015). Cada técnica de estas tiene distintas aplicaciones y ventajas diferentes , dependiendo del material utilizado y de qué tipo de objeto se desea imprimir.

Una investigación realizada en Unitec , Tegucigalpa encontró por medio de un pilotaje de impresión 3D con filamento PET reciclado que , ,medir el filamento con dos individuales es crucial para poder minimizar los errores que puedan ser causados por el enrollado. Se

encontró de igual forma que el uso de impresión 3D con filamento hecho de PET reciclado de botellas de refresco es viable para la elaboración de productos que se deseen terminar e imprimir. (Sosa, 2024)

En el proyecto las placas serán impresas en por medio de una impresora 3D y las placas serán hechas a base de PETG reciclado. El filamento estará hecho a base de PETG 100% reciclado y en un color que se desee para poder tener el producto final que será con el tamaño especificado para la placa vehicular. El acabado final que arroje la impresora 3D serán las distintas placas vehiculares diseñadas que se podrán fabricar en base a la cantidad de filamentos disponibles y el muso de las maquinas.

### **3.6 CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE COSTOS EN UN PROYECTO**

#### **3.6.1 MS EXCEL**

La estimación de costos en las etapas previas o tempranas de un proyecto es una asignación indispensable, para poder hacer la estimación con rapidez se plantea el uso de una hoja de cálculo de Excel que permite evaluar presupuestos de manera formal y exponer resultados (Bernal & Carvajal & Akvis ,2017). Las hojas de cálculo de Excel son las de mayor uso en el mercado, la facilidad para poder identificar costos directos e indirectos al igual que gastos totales en base a la producción deseada de un determinado objeto (Toro, 2007).

En Costa Rica se realizó una investigación en la cual se desarrolló una hoja de cálculo en Excel que permite evaluar los costos de construcción de vivienda de manera sistemática. Para poder crear la hoja de cálculo , se creó una base de datos mediante estudios e investigaciones de campo con todo lo referente a la mano de obra, materiales y procesos constructivos utilizados comúnmente. La valoración económica anticipada del costo de un proyecto a realizar es necesario para poder evaluar la viabilidad y los beneficios que traerá determinado proyecto. La investigación sirvió de base para poder fijar los precios de venta por la obra a realizar y los servicios brindados. (Álvarez, 2011)

Una vez concluida la simulación del proceso de fabricación de placas vehiculares, se procederá a realizar la estimación de costos por medio de Excel. Se creará una hoja de cálculo en la que se estimará el costo del proyecto de la elaboración de placas con un objetivo diario de placas fabricadas por medio de la impresión 3D. Una vez realizada esta estimación se evaluará la

viabilidad y los beneficios económicos que el proyecto puede brindar una alternativa a la fabricación de placas.

### **3.7 MANUFACTURA ADITIVA**

La manufactura aditiva es un método de producción digitalizada que consiste en la fabricación de objetos que han sido previamente diseñados, mediante la deposición de capa por capa del material hasta la obtención de un objeto tridimensional. El crecimiento de la manufactura aditiva se debe al continuo descubrimiento de nuevos beneficios específicos que este tipo de tecnología aporta a distintos sectores industriales. Sectores industriales como ser: la automotriz, electrónica, aeroespacial entre otras se han visto beneficiados por los avances en la manufactura aditiva (Christoph & Muñoz, 2016).

En Guanajuato, México se planteó un modelado de un prototipo reductor de velocidad de un sistema de engranaje de tipo tren, con el uso de manufactura aditiva a través de una impresora 3D Prusa i3 XL. Esta máquina fabrica las piezas diseñadas por medio de un software de dibujo, e imprime a escala real por medio de la extrusión de plástico por capas y posicionamiento de herramienta en tres dimensiones. Los resultados mostraron factores imprevistos y condiciones que son necesarias para la respuesta del prototipo como ser, el tiempo de impresión, paradas de emergencia, entre otros imprevistos (Juárez& Peña, 2017).

Para el proyecto en marcha, la investigación antes mencionada es de suma importancia para tomar como base la impresión a realizar. Se realizará un diseño inicial el cual será impreso a una menor escala para poder simular el tiempo de impresión, y una vez la pieza este impresa se podrá notar que mejoras se pueden realizar al igual que factores como el tiempo de impresión y el consumo de filamento.

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1 ENFOQUE**

La presente investigación empleó un enfoque cuantitativo, las herramientas y el análisis aplicado es desde un punto de vista ingenieril. Con este enfoque se evaluó la viabilidad de fabricar placares vehiculares mediante la impresión 3D y uso de filamento PETG reciclado, tomando en consideración los costos de producción, tal como ser la cantidad de impresoras necesarias para satisfacer una demanda u objetivo específico.

Según lo expuesto por Hernández Sampieri, el enfoque cuantitativo es estructurado por un conjunto de procedimientos organizados siguiendo una secuencia para probar una hipótesis o suposición, en donde cada fase debe de seguir un orden. Este enfoque es adecuado en investigaciones donde se busca medir variables, realizar estimaciones de fenómenos y probar hipótesis con objetividad. (Hernández Sampieri et al., 2014)

En este proyecto, el enfoque cuantitativo abarcó desde la estimación del material requerido para cada placa hasta la determinación del número de impresoras necesarias para cumplir con la demanda, así como la evaluación de los costos proyectados bajo distintos escenarios de simulación.

#### **4.1.1 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. Se exploró como el consumo de material, el tiempo de impresión y la cantidad de impresoras disponibles contribuyen al costo por placar vehiculares impresas en 3DP.

El enfoque correlacional permite prever el comportamiento de una variable con base en los cambios de otra, lo que contribuye a la propuesta de optimización del proceso de impresión y la evaluación de su viabilidad técnica y económica. (Hernández Sampieri et al., 2014).

### **4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES**

Las variables independientes en este estudio incluyeron el material utilizado y los parámetros de impresión. El material, en este caso, es el filamento PETG reciclado, cuyas propiedades como resistencia, consistencia y durabilidad fueran evaluadas en el contexto de su uso en impresión 3D. Los parámetros de impresión, como la temperatura de la boquilla, la velocidad de impresión y el grosor de capa.

#### **4.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES**

Las variables dependientes en esta investigación incluyeron el costo de producción, la viabilidad económica, la cantidad de impresoras necesarias para satisfacer la demanda del proceso. El costo de producción se analizó en función del consumo de material, energía y mano de obra. La viabilidad económica se evaluó considerando el costo total proyectado frente a la demanda de placas vehiculares. La cantidad de impresoras requeridas se calcula para cumplir con la demanda en distintos escenarios simulados.

### **4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS**

#### **4.3.1 INSTRUMENTOS**

- Impresoras 3D (Bambu Lab A1): Utilizadas para realizar las pruebas físicas de impresión con filamento PETG reciclado, permitiendo evaluar la viabilidad de producción de las placas vehiculares.
- Software FlexSim: Herramienta de simulación que permite modelar y optimizar el proceso productivo en un entorno controlado, simulando distintos escenarios de producción y demanda.
- Software SolidWorks: Utilizado para el diseño 3D de las placas vehiculares, permitiendo ajustar dimensiones y realizar simulaciones estructurales del modelo antes de la impresión.
- Microsoft Excel: Empleado para el análisis de datos, registro de resultados y cálculo de costos asociados al proceso de producción, facilitando el manejo y comparación de variables clave en el proyecto.

#### **4.3.2 TÉCNICAS**

- Simulación del proceso en software: uso de FlexSim para replicar el flujo productivo en un entorno virtual y evaluar la eficiencia del proceso.

- Análisis de procesos: técnica para identificar posibles cuellos de botella y optimizar el flujo productivo en cada etapa del proceso.

#### **4.4 MATERIALES**

- Filamento de PETG reciclado.

#### **4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **4.5.1 POBLACIÓN**

La población de este estudio comprendió diez placas vehiculares que son aptas, para ser impresas en impresoras 3D utilizando filamentos PETG reciclado. La aptitud de que las placas puedan ser impresas se definió mediante el cumplimiento de los estándares de tamaño y diseño requeridos para su uso vehicular, considerando variaciones en el color del filamento y el consumo de material en gramos y metros.

##### **4.5.2 MUESTREO**

El tipo de muestreo que se empleó es no probabilístico por conveniencia debido a la disponibilidad del filamento PETG reciclado actualmente. Con este tipo de muestreo de selección se capturaron variaciones relevantes como el comportamiento y el consumo del material durante la impresión. Con este enfoque se respondió a la necesidad de obtener datos del consumo del material relevantes para el análisis económico.

##### **4.5.3 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.

En esta muestra se combinaron los beneficios de la simulación y las pruebas físicas de impresión 3D, debido a que las simulaciones proporcionaron predicciones sobre el comportamiento de las impresiones, mientras que la impresión física de seis placas permitió validar los datos de la simulación ayudando a generar un análisis detallado del material y del proceso.

#### **4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

La metodología de este proyecto emplea la aplicabilidad del uso de filamento PETG reciclado para la fabricación de placas vehiculares en 3D. De esta manera el enfoque integró la manufactura aditiva para destacar los beneficios de uso de materiales reciclados al mismo tiempo de proponer alternativas sostenibles en la producción de placas vehiculares en Tegucigalpa, Honduras.

En la primera fase del proyecto se analizó la problemática de escasez de material para la producción de placas vehiculares en Honduras. Mediante revisión literaria se analizó el uso de impresión 3D utilizando filamento PETG reciclado como alternativa para poder producir las placas vehiculares, tomando en consideración el comportamiento del material.

Para poder llegar a un diseño de las placas vehiculares se realizaron pilotajes del diseño para poder asegurar que el diseño cumpliera con los estándares y buena presentación. Los pilotajes del diseño se realizaron en impresiones físicas lo que ayudo a visualizar de manera tangible las mejoras que los diseños presentaban. Con el diseño mejorado se logró llegar a un diseño final el cual serviría como base para poder realizar las impresiones de la muestra seleccionada en este estudio.

Ya que se tenía el diseño final, se procedió a realizar impresiones físicas en la impresora Bambu Lab A1 para recolectar información del proceso de impresión, consumo del filamento PETG y el tiempo de impresión. El proceso de impresión fue plasmado en un flujo de procesos para visualizar etapas críticas del proceso, el cual luego sería plasmado en el modelo de simulación. De la misma forma, el comportamiento del consumo de material y del tiempo de impresión se utilizaron y se analizó la distribución probabilística para ser simulado en FlexSim.

Con la información necesaria recolectada, se creó el modelo de simulación del proceso de impresión 3D de placas vehiculares. Con los resultados de pruebas físicas y los resultados de la simulación, finalmente se creó la conclusión sobre la viabilidad técnica y económica del uso de filamento PETG reciclado como alternativa de material para la producción de placas vehiculares.

#### **4.7 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN**

La validación de este proyecto se llevó a cabo en tres fases principales. La primera fase consistió en realizar pruebas preliminares de impresión 3D con filamento PETG reciclado para la fabricación de placas vehiculares en un entorno controlado. Estas pruebas piloto

permitieron analizar la efectividad del filamento, registrando datos sobre el rendimiento del material, el tiempo de impresión y el consumo de filamento por placa. Este proceso inicial fue fundamental para identificar posibles errores y ajustar parámetros, asegurando que las metodologías de producción fueran adecuadas para el estudio y reduciendo así las variaciones que podrían afectar los resultados finales.

La segunda fase de validación se realizó mediante una simulación del proceso de impresión en el software FlexSim. Esta simulación replicó el flujo de producción en un entorno virtual, permitiendo comparar los datos obtenidos en las pruebas físicas con los resultados simulados. Esta etapa facilitó el análisis de la consistencia del modelo y la identificación de oportunidades de mejora en el flujo de trabajo, garantizando que el modelo reflejara de forma precisa las condiciones observadas en las pruebas reales. Esta simulación fue revisada con expertos para validar su precisión en relación con los parámetros de impresión y consumo de materiales.

La tercera fase implicó la revisión de estos resultados por expertos en ingeniería industrial, quienes aportaron observaciones y retroalimentación para validar que el proceso propuesto cumpliera con los estándares de viabilidad, eficiencia y sostenibilidad, completando así la validación integral del proyecto.



## **V. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **5.1 DISEÑO Y MODELADO EN SOLIDWORKS**

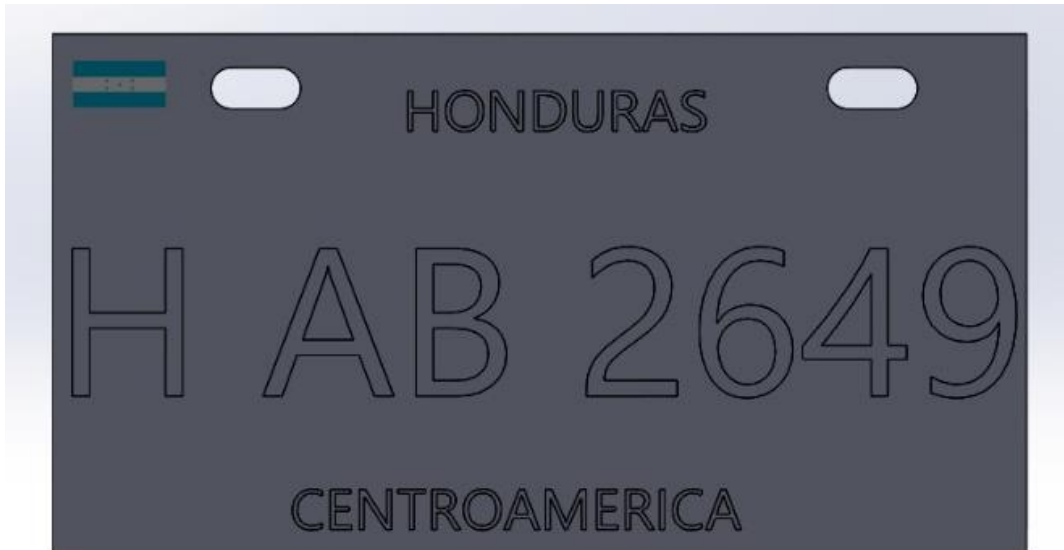
#### **5.1.1 PILOTAJE DEL DISEÑO E IMPRESIÓN 3D PARA VALIDACIÓN**

El proceso de pilotaje consistió en un ciclo iterativo que integró el diseño en software CAD, la impresión 3D y el análisis de los resultados del pilotaje, con el propósito principal de validar el diseño preliminar de las placas vehiculares. 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. Por ello se realizaron dos pruebas, que resultaron en dos piezas resultante de las pruebas de pilotaje *Ilustración 3 Pilotaje 3DP Prusa MK4* e *Ilustración 4 Pilotaje 3DP Bambu Lab A1*.

##### **5.1.1.1 PILOTAJE DEL DISEÑO EN SOLIDWORKS**

El desarrollo del diseño preliminar de la placa vehicular inició con un modelo básico en SolidWorks que servía como punto de partida para las pruebas de pilotaje. Este diseño inicial consideraba las dimensiones estándar de placas vehiculares en Honduras: *Ilustración 1 Diseño preliminar en SolidWorks*

- Largo: 30 cm
- Ancho: 16 cm
- Espesor: 2mm



*Ilustración 1 Diseño preliminar en SolidWorks*

Fuente: Elaboración propia

Tras la evaluación en el primer pilotaje, se identificaron ajustes necesarios, se elaboró un segundo diseño más detallado y completo. Este modelo final incluyó los ajustes como:

- Línea Interna para Color Azul: Se añadió una línea interna para la franja azul característica de las placas hondureñas. Esta línea, ubicada a 4 cm del borde exterior.
- Esquinas Redondeadas: Para mejorar la funcionalidad, se redondearon las esquinas con un radio de 1.03 cm. Esto reduce el riesgo de fracturas en los bordes y asegura un mejor acabado estético.
- Borde Interno: Se generó un borde interno color negro mediante la herramienta de offset, creando un borde uniforme de 8 mm hacia el interior de la placa, lo cual le otorga mayor rigidez y una apariencia estética mejorada.
- Corrección de Texto ("Centroamérica"): En SolidWorks, se ajustó el texto "Centroamérica" para incluir el acento en la letra "e", asegurando que el diseño esté correctamente representado en la impresión.
- Colores correctos y limpios para los detalles a color que llevan las placas vehiculares hondureñas.



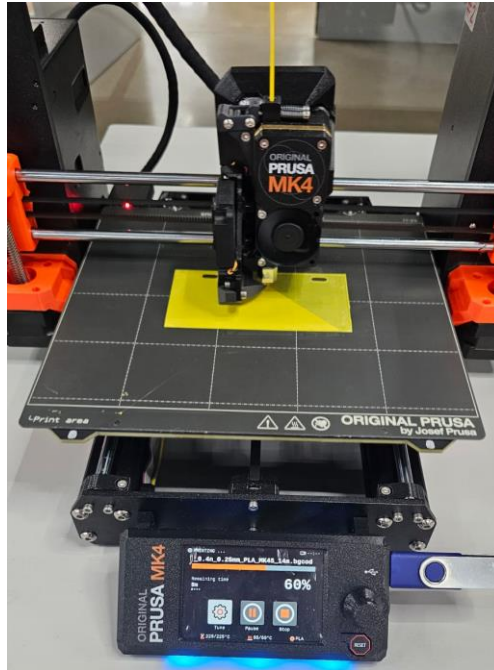
*Ilustración 2 Diseño final en SolidWorks*

Fuente: Elaboración propia

Las ilustraciones, *Ilustración 1 Diseño preliminar en SolidWorks* y la *Ilustración 2 Diseño final en SolidWorks*, demuestra la capacidad de SolidWorks para capturar detalles funcionales y estéticos, permitiendo iteraciones rápidas para su optimización. El uso de herramientas CAD como SolidWorks facilita la integración de ajustes funcionales en etapas tempranas del diseño, reduciendo costos asociados con modificaciones posteriores y mejorando la eficiencia del flujo de trabajo. El uso de SolidWorks para capturar detalles funcionales y estéticos del diseño confirma su eficacia como herramienta CAD ampliamente utilizada en manufactura aditiva. Según Gibson, Rosen y Stucker (2015), los sistemas de diseño asistido por computadora (CAD) como SolidWorks son fundamentales en procesos de impresión 3D, ya que permiten iteraciones rápidas y precisas en las etapas iniciales del diseño, minimizando el riesgo de errores en la fabricación y reduciendo costos asociados a modificaciones posteriores. Esto respalda la selección de SolidWorks en este proyecto, garantizando una transición eficiente entre el diseño conceptual y la impresión física.

#### **5.1.1.2 PILOTAJE DEL DISEÑO EN IMPRESORA 3D**

La primera prueba de pilotaje incluyó una impresión inicial con **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en la impresora Prusa MK4 a una escala reducida del 40%, lo que permitió identificar posibles ajustes en el diseño preliminar desarrollado en SolidWorks.



*Ilustración 3 Pilotaje 3DP Prusa MK4*

Fuente: Elaboración propia

Las características iniciales de largo, ancho y espesor no fueron modificadas.

Tras la evaluación en el pilotaje, donde se identificaron los siguientes ajustes necesarios:

- Línea Interna para Color Azul: línea interna para la franja azul característica de las placas hondureñas.
- Esquinas Redondeadas: Para mejorar la funcionalidad, esto reduce el riesgo de fracturas en los bordes y asegura un mejor acabado estético.
- Borde Interno: Borde interno color negro lo cual le otorga mayor rigidez y una apariencia estética mejorada.
- Corrección de Texto ("Centroamérica"): En el texto "Centroamérica" incluir el acento en la letra "e".

Posteriormente, el diseño Ilustración 2 Diseño final en SolidWorks fue validado en la impresora Bambu Lab A1, la máquina principal destinada a la producción final. Durante esta etapa, se identificó la mejora en el incremento del espesor de la placa:

- Espesor inicial: 2mm
- Espesor mejorado: 4mm

En la impresión de pilotaje, *Ilustración 4 Pilotaje 3DP Bambu Lab A1*, realizada en la impresora Bambu Lab A1 se identificó la limitante de que la cama de la impresora no es lo suficientemente grande para la impresión completa de una placa vehicular. Por lo que se tomó la opción de realizar las placas en dos partes que posteriormente serán unidas, con esto podemos asegurar que el tamaño de las placas impresas es a escala real.



*Ilustración 4 Pilotaje 3DP Bambu Lab A1*

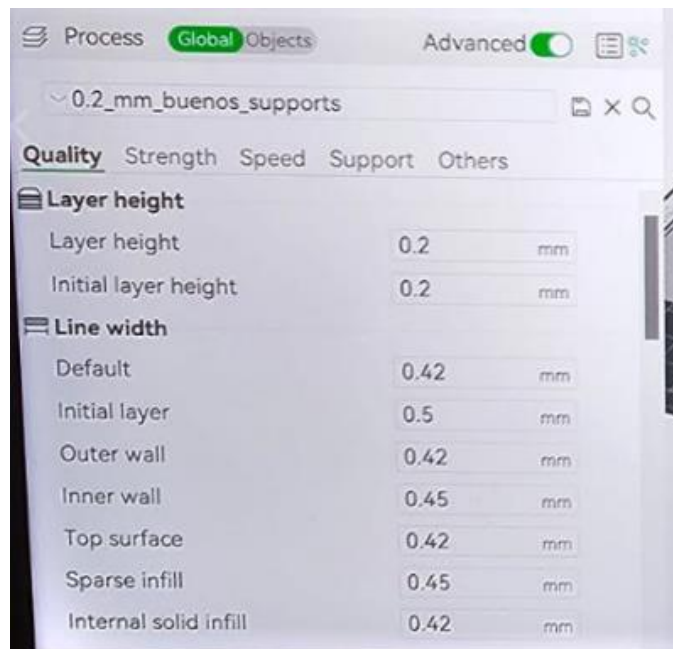
Fuente: Elaboración propia

La validación mediante pilotajes es un paso crítico en proyectos de manufactura aditiva, especialmente aquellos que involucran componentes funcionales como las placas vehiculares. Este enfoque permite evaluar diseños preliminares y realizar ajustes necesarios antes de su implementación completa, reduciendo significativamente los costos asociados con errores de diseño o producción. Según Gibson, Rosen y Stucker (2015), las iteraciones rápidas en diseño asistido por computadora (CAD) y prototipado permiten identificar y solucionar problemas en etapas tempranas, minimizando desperdicios de material y tiempo de fabricación.

### 5.1.2 CONFIGURACIÓN DE LAS PRUEBAS DE FABRICACIÓN DEFINITIVAS

En esta etapa, se definieron y ajustaron los parámetros de impresión para garantizar la calidad y consistencia de las placas vehiculares impresas en 3D con filamento PETG reciclado. Las configuraciones se establecieron en la impresora Bambu Lab A1, *Ilustración 5 Especificaciones utilizadas en Bambu Lab A1*, asegurando un balance entre calidad, durabilidad y eficiencia en el consumo de material. Los parámetros de impresión se ajustaron en función de los resultados observados en los prototipos y se definieron de la siguiente manera:

- Temperatura de Extrusión: 239 °C, optimizada para asegurar una adecuada adhesión del filamento PETG reciclado y evitar problemas de estriación o debilidad en las capas.
- Temperatura de la Base: 64 °C, para promover la adherencia en la primera capa y evitar deformaciones durante la impresión.
- Velocidad de Impresión: 50 mm/s, elegida para mantener la precisión en el acabado de los bordes y detalles.
- Espesor de Capa: 0.2 mm, configurado para optimizar el equilibrio entre detalle en el acabado y tiempo de impresión.
- Espesor Ajustado: Basado en las pruebas de pilotaje, el espesor final de la placa se incrementó a 1.5 mm para mejorar su rigidez y presentación.



*Ilustración 5 Especificaciones utilizadas en Bambu Lab A1*

Fuente: Elaboración propia



*Ilustración 6 Pantalla de Bambu Lab A1 con especificaciones térmicas*

Fuente: Elaboración propia

El uso de filamento PETG reciclado en combinación con impresoras 3D avanzadas, como la Bambu Lab A1, representa una solución eficiente y sostenible para la fabricación de placas vehiculares. El PETG reciclado, conocido por su durabilidad y adhesión entre capas, demuestra ser un material adecuado para aplicaciones que requieren resistencia estructural y acabado uniforme. Según Herzog Cruz (2022), estas propiedades hacen del PETG una opción viable para aplicaciones industriales donde la robustez y la estabilidad térmica son esenciales. Además, el proceso de impresión 3D, como señalan Gibson, Rosen y Stucker (2015), permite una precisión en los detalles y flexibilidad en los ajustes de diseño, reduciendo costos y mejorando la eficiencia del flujo productivo. Esta integración tecnológica no solo promueve la reutilización de plásticos, reduciendo el impacto ambiental, sino que también refuerza el potencial de la manufactura aditiva en proyectos industriales sostenibles. Por su parte, Quevedo y Bonilla (2021) resaltan que el PETG reciclado, al ser fácil de extruir y mantener propiedades mecánicas consistentes, se posiciona como una alternativa práctica y amigable con el medio ambiente, garantizando la funcionalidad y estética requeridas en este tipo de proyectos.

### **5.1.3 RESULTADOS DE LAS 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. Como se ha realizado las placas en dos piezas debido a limitaciones de la máquina, se especifican los datos para cada pieza:

Los datos obtenidos para la pieza A incluyen:

- Tiempo de Producción: En promedio, cada placa vehicular tardó 3 horas 54 minutos en imprimirse.
- Consumo de Material: Cada placa impresa utilizó en promedio 81.27 gramos de filamento PETG color blanco; 21.52 gramos de PETG color azul, y 38.16 gramos de PETG color negro. En metros lineales esto es representado por 30.31 metros de filamento PETG color blanco, 7.1 metros de filamento PETG color azul y 12.59 metros de filamento PETG color negro.

Color Scheme		Filament		
Filament	Model	Flushed	Tower	Total
1	24.64 m 74.08 g	1.95 m 5.87 g	0.38 m 1.14 g	26.97 m 81.08 g
2	5.94 m 17.85 g	0.91 m 2.73 g	0.25 m 0.76 g	7.10 m 21.34 g
5	8.46 m 25.45 g	0.56 m 1.68 g	0.30 m 0.91 g	9.32 m 28.03 g
Total	39.04 m 117.37 g	3.42 m 10.28 g	0.93 m 2.81 g	43.39 m 130.45 g
Filament change times: 35				
Cost: 3.00				
<b>Time Estimation</b>				
Prepare time:		5m58s		
Model printing time:		3h48m		
Total time:		3h54m		

Ilustración 7 Cantidad de filamento y tiempo utilizado por la pieza A

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos para la pieza B incluyen:

- Tiempo de Producción: En promedio, cada placa vehicular tardó 1 hora 24 minutos en imprimirse.

- Consumo de Material: Cada placa impresa utilizó en promedio 20.33 gramos de filamento PETG color blanco; 3.47 gramos de PETG color azul, y 2.60 gramos de PETG color negro. En metros lineales esto es representado por 6.76 metros de filamento PETG color blanco, 1.15 metros de filamento PETG color azul y 7.81 metros de filamento PETG color negro.

Color Scheme		Filament		
Filament	Model	Flushed	Tower	Total
1	4.59 m 13.79 g	1.79 m 5.38 g	0.39 m 1.16 g	6.76 m 20.33 g
2	0.70 m 2.12 g	0.36 m 1.09 g	0.09 m 0.26 g	1.15 m 3.47 g
5	1.74 m 5.24 g	0.51 m 1.55 g	0.34 m 1.02 g	2.60 m 7.81 g
Total	7.03 m 21.14 g	2.67 m 8.02 g	0.81 m 2.45 g	10.51 m 31.61 g

Filament change times: 27  
Cost: 0.73

**Time Estimation**

Prepare time: 5m58s  
Model printing time: 1h18m  
Total time: 1h24m

Ilustración 8 Cantidad de filamento y tiempo utilizado por pieza B

Fuente: Elaboración propia

En ambas piezas se notó:

- Calidad Superficial y Estructural: Las placas impresas presentaron un acabado uniforme, con buena definición en los bordes y texto. No se observaron problemas de deformación o fracturas.
- Adherencia y Estabilidad: La configuración de temperatura y velocidad de impresión resultó en una excelente adherencia entre las capas de filamento, garantizando una estructura robusta y estable. La línea interna para el color azul y las esquinas redondeadas mantuvieron su forma y estética durante el proceso de impresión.

Para fines de una mejor ilustración del producto final se unieron ambas piezas y se obtuvo el siguiente resultado:



*Ilustración 9 Resultado de placa vehicular en 3DP*

Fuente: Elaboración propia

El ajuste de los parámetros de impresión en esta etapa permitió consolidar un equilibrio entre calidad, eficiencia y funcionalidad del proceso productivo. Este enfoque está alineado con lo señalado por Gibson, Rosen y Stucker (2015), quienes destacaron que la personalización de los parámetros en la manufactura aditiva es esencial para optimizar los resultados finales y adaptar el proceso a las necesidades específicas del proyecto. Por otra parte, la implementación de herramientas como MS Excel para el análisis de consumo de material y tiempos de producción concuerda con los aportes de Barrios y Miranda (2006), quienes subrayaron la importancia de emplear métodos sistemáticos para monitorear y controlar los costos de producción en proyectos industriales. Esto aseguró que las métricas de desempeño, como la eficiencia del uso de material y los tiempos de fabricación, se mantuvieran dentro de los límites óptimos en cada iteración del proceso. De este modo, el proyecto logró avanzar hacia configuraciones de impresión más robustas que no solo respondieron a las necesidades técnicas, sino que también garantizaron la sostenibilidad del proceso al minimizar los desperdicios y optimizar los recursos.

## **5.2 ANÁLISIS DE FLUJO DE PROCESOS DE IMPRESIÓN**

### **5.2.1 DESGLOSE DEL PROCESO DE FABRICACIÓN**

El proceso de fabricación de las placas vehiculares mediante impresión 3D se inicia con la recepción de la solicitud de impresión, seguida por la introducción de la serie de la placa en una plantilla prediseñada. Esto permite personalizar cada placa sin necesidad de rediseñar el modelo completo, agilizando el flujo de trabajo.

- **Revisión del Filamento:** Una vez lista la solicitud, se revisa el estado del filamento en la impresora, comprobando que haya suficiente material y que esté en condiciones óptimas para evitar interrupciones durante la impresión.
- **Inicio de la Impresión:** Si el filamento está en buen estado, la impresión se envía a través de la red Wifi, y la impresora comienza el proceso de fabricación.
- **Monitoreo del Proceso de Impresión:** Durante la impresión, se verifica continuamente si el proceso ha sido pausado. Si la impresión se interrumpe, se identifican las causas posibles, como problemas con el filamento o interrupciones en el suministro eléctrico.
- **Verificación de Fallos y Reanudación:** Si la impresión se pausa por falta de filamento o problemas de calidad en el material, se carga un nuevo rollo y se reanuda la impresión. Si el problema es una interrupción de energía, el proceso se suspende hasta que el suministro eléctrico se restablezca, o se cancela si la interrupción afecta la integridad de la impresión.
- **Revisión de Calidad:** Una vez terminada la impresión, la placa pasa al departamento de control de calidad, donde se revisa para verificar que cumple con los estándares establecidos.
- **Decisión Final:** Si la placa pasa la inspección de calidad, el proceso finaliza y la placa se aprueba. Si no, la placa es desechada, y el proceso se reinicia si es necesario.

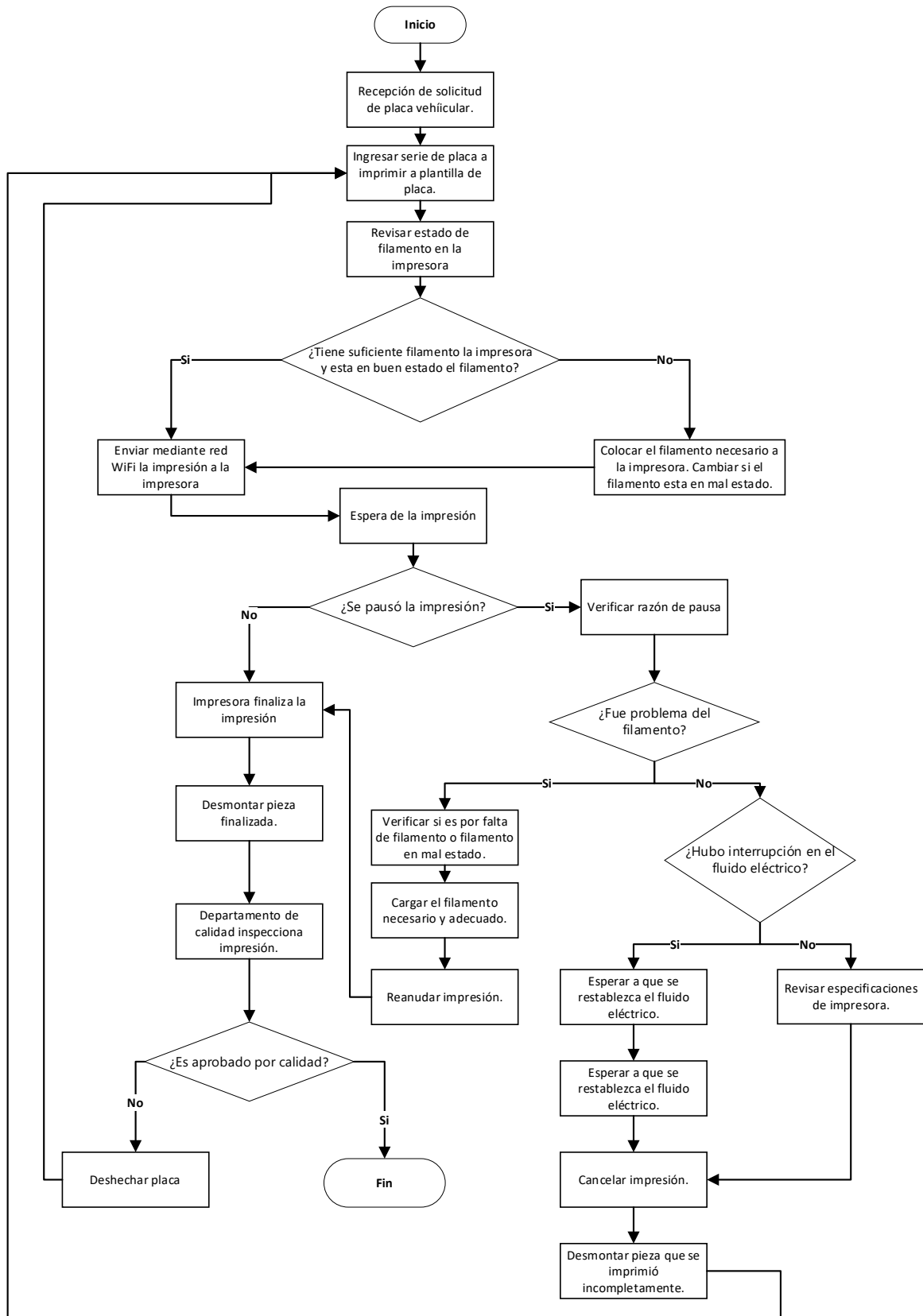


Diagrama 1 Diagrama de flujo de proceso 3DP

Fuente: Elaboración propia

## 5.2.2 IDENTIFICACIÓN DE ETAPAS CRÍTICAS

El análisis del flujo de procesos de la impresión de placas vehiculares, *Diagrama 1 Diagrama de flujo de proceso 3DP*, permite identificar varias etapas críticas que requieren atención especial para garantizar la calidad y eficiencia del proceso de fabricación:

- Revisión del Filamento y Estado de la Impresora: Asegurar que el filamento esté en condiciones óptimas y que haya suficiente material es crucial para evitar interrupciones y defectos en la impresión. Esta etapa es crítica ya que cualquier inconsistencia en el material puede afectar la calidad del producto final.
- Monitoreo Continuo durante la Impresión: La etapa de impresión es crítica, ya que existen múltiples factores que pueden interrumpir el proceso, como la falta de filamento o problemas con la energía eléctrica. La monitorización constante permite una rápida respuesta a cualquier problema, minimizando el impacto en el flujo de trabajo.
- Control de Calidad Final: La revisión final es esencial para asegurar que la placa cumple con los estándares de calidad y funcionalidad. Cualquier defecto que no se detecte en esta etapa podría resultar en la fabricación de productos que no cumplan con los requisitos, afectando la reputación del proceso y aumentando los costos.

El diagrama de flujo es una herramienta esencial en la fabricación de placas vehiculares mediante impresión 3D, ya que permite visualizar de forma clara y estructurada cada etapa del proceso, facilitando la comprensión y optimización del flujo de trabajo. Esta utilidad está respaldada por Harrington (1991), quien destaca que el análisis de procesos mediante herramientas visuales es crucial para identificar cuellos de botella, ineficiencias y oportunidades de mejora, lo que resulta indispensable en proyectos que combinan sostenibilidad y manufactura aditiva. Al desglosar cada paso, desde la solicitud inicial hasta la revisión de calidad, el diagrama no solo estandariza actividades, sino que también permite implementar controles rigurosos en etapas críticas, como la revisión del filamento y el control de calidad, minimizando errores y desperdicios.

## 5.3 MODELO DE SIMULACIÓN EN FLEXSIM

### 5.3.1 PILOTAJE DE MODELO DE SIMULACIÓN EN FLEXSIM

Como etapa preliminar de la investigación, se realizó un pilotaje del modelo de simulación para validarlos antes de realizar simulaciones a mayor escala. En esta etapa se identificó la precisión del modelo de poder replicar el proceso con las condiciones observadas en las pruebas físicas de impresión 3D, como también los tiempos de impresión y preparación de la maquina mediante las simulaciones que el software de impresión emitió.

### 5.3.1.1 FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN EN FLEXSIM

La simulación del proceso en FlexSim replicó el proceso de la impresión de placas desde el recibiendo de orden de realizar una placa vehicular hasta la placa vehicular ya impresa. Para esto los procesos fueron representados en la simulación mediante los objetos herramienta que FlexSim proporciona. La *Tabla 2 Representación de procesos en el modelo de simulación* contiene la información de cómo se representaron los procesos en la simulación de FlexSim utilizando la situación descrita en el *Diagrama 1 Diagrama de flujo de proceso 3DP*.

<b>Proceso</b>	<b>Representación en el modelo de simulación</b>	<b>Nombre de la representación en el modelo</b>
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_PiezaAImpresa
Espera de pieza B para ser unida	Queue	Q_PiezaBImpresa
Unión de piezas A y B	Combiner	UnionPlacas
Producto Terminado	Sink	Sink

*Tabla 2 Representación de procesos en el modelo de simulación*

En el simulador Flexim el modelo que ejemplifica el problema estudiado están representadas por:

- Fixed Resource: Source, Queue, Processor, Sink, Combiner y Separator

Los tiempos replicados están en unidades de segundos, por lo cual el modelo actual que comprende un horario de 8 a.m hasta las 5 p.m. cuenta con 32400 segundos. *Ilustración 10 Modo de visualización de tiempos en el modelo.*

*Ilustración 10 Modo de visualización de tiempos en el modelo*

Con la información recabada de los tiempos observados en proceso de diseño, impresión y unión, se configuraron los tiempos de procesamiento con distribuciones probabilísticas. Las distribuciones para cada los procesamientos de impresión y unión fueron realizadas en el software Experfit encontrado dentro del mismo software de FlexSim.

El tiempo de impresión de la Pieza A utilizó la distribución Johnson SB.

**Anderson-Darling Test with Model 1 - Johnson SB**

Sample size 10  
 Test statistic 0.63049

Note: No critical values exist for this special case.  
 The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
10	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

*Ilustración 11 Distribución impresión Pieza A*

El tiempo de impresión de la Pieza B utilizó la distribución Beta.

Anderson-Darling Test with Model 1 - Beta						
Sample size	10					
Test statistic	0.75734					
Note:	No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.					
Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
10	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

*Ilustración 12 Distribución impresión Pieza B*

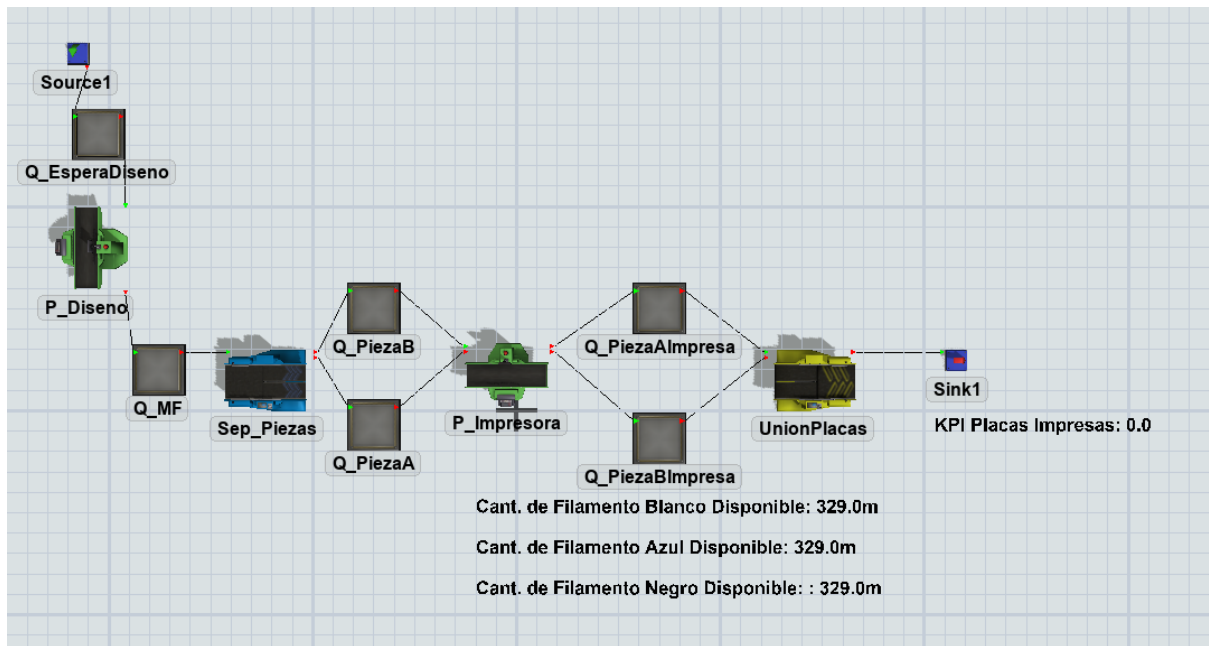
El tiempo de unión de las Piezas A y B utilizó la distribución Beta.

Anderson-Darling Test with Model 1 - Beta						
Sample size	10					
Test statistic	0.20219					
Note:	No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.					
Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
10	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

*Ilustración 13 Distribución de tiempo de unión*

El modelo utilizó como indicador clave de desempeño (KPI) la cantidad de placas impresas. El seguimiento de este indicador permite evaluar la cantidad de placas que pueden producirse en un periodo determinado, evaluando de esta manera la eficiencia del sistema y poder analizar el cumplimiento de meta de producción.

En la se puede visualizar la distribución y representación técnica del proceso de impresión de placas.



*Ilustración 14 Modelo de simulación visualización técnica*

El uso de simulación de FlexSim ha sido una herramienta para poder visualizar el proceso de impresión de placas sin tener que recurrir a más pruebas físicas repetitivas. FlexSim fue una herramienta que permitió modelar el flujo del proceso, desde la configuración del tiempo inicial de la impresora 3D hasta la finalización de las placas en la estación de unión. Como lo mencionan Bank et. Al (2010), la simulación de procesos ayuda a evaluar los múltiples escenarios disponibles sin tener que alterar físicamente el sistema real o tener que incurrir en gastos sin saber que los cambios funcionarían. Con este modelo podemos probar escenarios hipotéticos y adaptar la situación para poder cumplir con una demanda de emisión de placas requeridas por los ciudadanos.

### **5.3.1.2 VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

El modelo de simulación realizado en FlexSim para simular el proceso de impresión de placas debe ser validado estadísticamente, los indicadores de desempeño que la simulación arroja deben ser iguales a los datos reales. La validación se realiza por medio de pruebas estadísticas de la prueba F para varianzas de dos muestras, se comparan los resultados simulados con los datos que fueron recolectados en el trabajo.

KPI Placas Impresas	
Datos Reales	Datos Simulados
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
	1
	1
	1
	1
	1

Tabla 3 KPI Placas Impresas

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	Variable 1	Variable 2
Media	1	1
Varianza	0	0
Observaciones	10	15
Grados de libertad	9	14
F	65535	
P(F<=f) una cola		
Valor crítico para F (α=0.05)	0.33052686	

Tabla 4 Prueba F para varianzas de dos muestras

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	Variable 1	Variable 2
Media	1	1
Varianza	0	0
Observaciones	10	15
Varianza agrupada	0	
Diferencia hipotética	0	
Grados de libertad	23	
Estadístico t	65535	
P(T<=t) una cola		
Valor crítico de t (una cola)	1.71387153	
P(T<=t) dos colas		
Valor crítico de t (dos colas)	2.06865761	

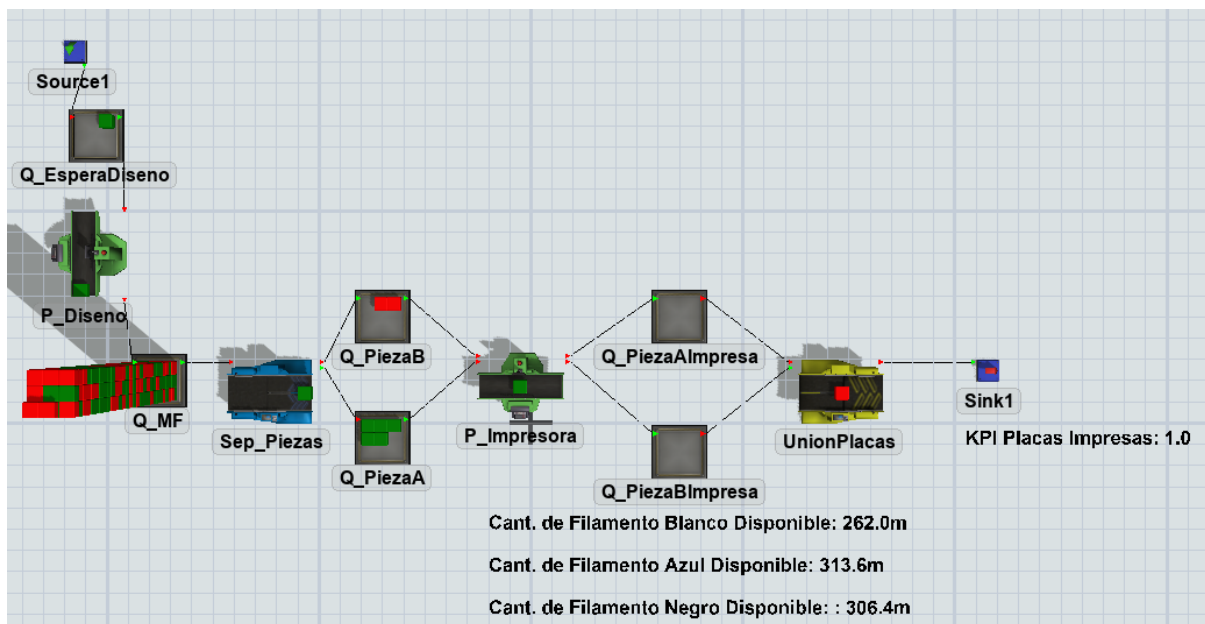
Tabla 5 Prueba T para muestras de varianzas iguales

Por medio de la prueba F para varianzas de dos muestras se logró comprobar que las varianzas eran iguales, por lo tanto, se procedió a realizar la prueba T suponiendo varianzas iguales y el modelo se logró validar estadísticamente. El modelo validado comprueba que la toma de tiempos y las distribuciones realizadas en Experfit fueron realizados de forma correcta y se pueden utilizar para la propuesta de un nuevo modelo en Flexsim.

## 5.4 RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN FLEXSIM

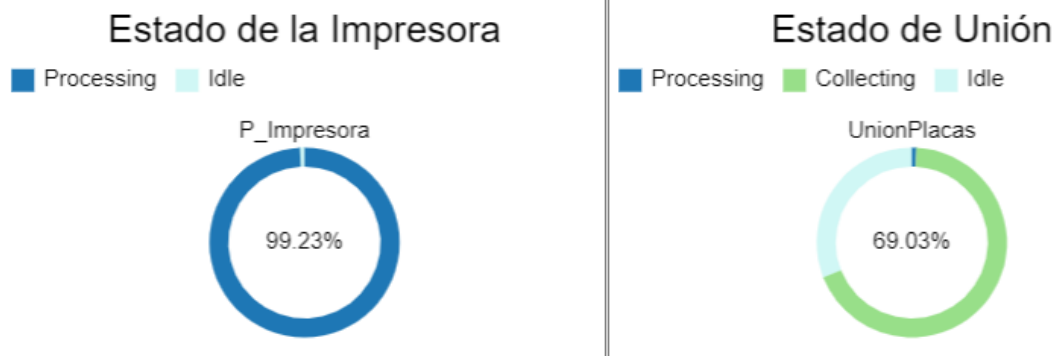
### 5.4.1 RESULTADO DE SITUACIÓN ACTUAL

La situación actual del proceso de impresión cuenta con solo una impresora que es encargada de imprimir Pieza A y Pieza B y una estación de unión de piezas, lo que en una jornada de 8 a.m. hasta las 5 p.m. solo es capaz de completar una placa completa, que lo podemos visualizar en el KPI Placas Impresas en la *Ilustración 15 Resultado Modelo Actual*.



*Ilustración 15 Resultado Modelo Actual*

Al hacer un análisis del estado de tiempo en el procesador de la impresora (P\_Impresora) y de la estación de unión de placas (UnionPlacas) se visualizó que el 99.23% del tiempo la impresora está trabajando mientras que la estación de unión solo trabaja un 0.78%, y espera a unir piezas el 69.03%. Ver *Ilustración 16 Estado de tiempo*. Con esto podemos determinar que el cuello de botella es la impresora, ya que el tiempo de impresión de las piezas es de mayor tiempo que el unir las placas y esto hace que la estación de unión este en ocio siendo no productivo.



*Ilustración 16 Estado de tiempo*

Por medio de la simulación del proceso pudimos identificar cual es el cuello de botella del proceso de fabricación de placas vehiculares, analizando de esta manera la etapa crítica por lo cual la capacidad del proceso se comprometido. Resaltando lo que dice Banks et. Al (2010) la simulación nos genera un gran beneficio al poder modificar parámetros para visualizar la mejora de ellos en el resultado del proceso. Con esto podemos visualizar una base para poder proponer mejoras en el proceso y poder modificarlo en el simulador sin necesidad de recurrir a mayores gastos.

### 5.4.2 SITUACIÓN PROPUESTA Y RESULTADOS

Para poder iniciar con la situación propuesta como parte clave fue optar por dos impresoras, siendo una impresora la encargada de imprimir la Pieza A y otra para imprimir la Pieza B. Por lo cual ahora la representación en la simulación es la siguiente:

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 Pieza A	Processor	P_ImpresoraPiezaA
Impresión Pieza B	Processor	P_ImpresoraPiezaB
Espera de pieza A para ser unida	Queue	Q_PiezaAImpresa
Espera de pieza B para ser impresa	Queue	Q_PiezaBImpresa
Unión de piezas A y B	Combiner	UnionPlacas
Producto Terminado	Sink	Sink

Tabla 6 Representación de procesos en el modelo de simulación propuesto

Visualmente de manera técnica el modelo se visualiza de la siguiente manera:

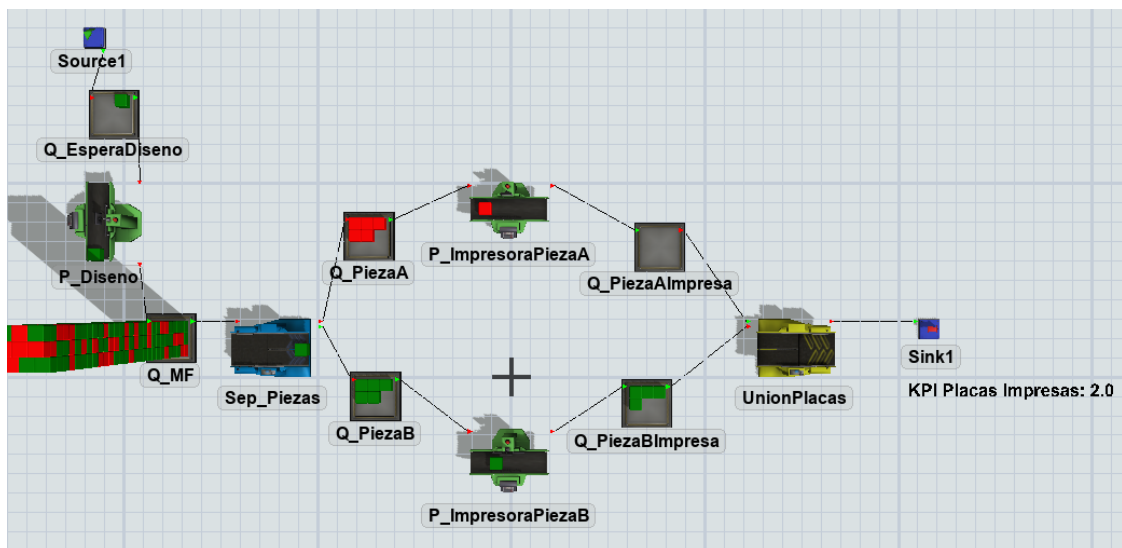


Ilustración 17 Resultado del modelo propuesto

Al realizar esa separación de que hay dos impresoras según la pieza, el estado de trabajo de las estaciones de la Impresora Pieza A, Impresora B y Estación de Unión son las siguientes, ver *Ilustración 18 Estado de tiempo modelo propuesto*.



*Ilustración 18 Estado de tiempo modelo propuesto*

Del estado de trabajo de cada estación se puede destacar que ambas impresoras pasan en uso, mientras que igual la estación de unión sigue en ocio y solo se utiliza un 1.74% del tiempo comprendido en la simulación. El ocio de esta estación se debe a que siempre debe de esperar ambas piezas para poder realizar el proceso de unión y poder fabricar la pieza completa que reconocemos como la placa vehicular.

Por lo tanto, en el modelo se cuentan con tres parámetros que se pueden cambiar siendo estas:

- Cantidad de Impresoras para Pieza A
- Cantidad de Impresoras para Pieza B
- Cantidad de Estaciones de Unión

Estos parámetros se pueden hacer cambios en su cantidad y poder correrlo en Experimenter, que es una de las herramientas que se encuentra en el mismo software de FlexSim. Ver *Ilustración 19 Escenarios propuestos*.

La lectura de *la Ilustración 19 Escenarios propuestos* es de la manera: Escenario 1, cuenta con solo 1 impresora de pieza A, 1 impresora de pieza B, y una estación de unión., con el cual se logra fabricar 2 placas por día. Escenario 2, cuenta con 2 impresoras pieza A, 1 Impresora pieza y una estación de unión, logra fabricar 4 placas. Y así consecutivamente por la cantidad de escenarios propuestos según el criterio de la investigación.

ScenarioID	ImpresorasPiezaA	ImpresorasPiezaB	Union	KPI Cant de Placas Terminadas
1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
2.00	2.00	1.00	1.00	4.00
3.00	3.00	1.00	1.00	6.00
4.00	3.00	2.00	1.00	6.00
5.00	4.00	2.00	1.00	8.00
6.00	5.00	2.00	1.00	10.00
7.00	6.00	2.00	1.00	12.00
8.00	8.00	1.00	1.00	6.00
9.00	9.00	3.00	1.00	18.00
10.00	10.00	4.00	1.00	20.00

*Ilustración 19 Escenarios propuestos*

La finalidad de realizar cambios en los parámetros dentro de la simulación en Experimenter permite evaluar diferentes escenarios posibles sin tener que incurrir en gastos adicionales, sin tener que adquirir mayor cantidad de impresoras. Es de los mayores beneficios que la herramienta FlexSim (Banks et. Al ,2010) presenta al querer analizar la viabilidad a gran escala del proyecto.

## **5.5 ANÁLISIS DE COSTO DE MATERIAL**

### **5.5.1 ANÁLISIS DE COSTO DE MATERIA PRIMA POR PLACA**

Para lograr determinar la viabilidad económica de la propuesta de impresión de placas 3D, se empezó por analizar el costo por placa según los factores que afectan a producción de las placas. El primer factor para considerar fue el costo de cada rollo de filamento de plástico PETG utilizado para la impresión, se utilizaron tres distintos colores para la impresión y se calculó el consumo en gramos de cada color.

<b>Blanco</b>	<b>Azul</b>	<b>Negro</b>
<b>101.598</b>	<b>27.983</b>	<b>45.97</b>

*Tabla 7 Consumo en Gramos de Filamento por Color*

Cada rollo de filamento contiene 1000 gramos por unidad independientemente del color por lo cual se calculó porcentaje de la cantidad de filamento consumido en cada impresión de placa. Se cotizó precio por rollo de filamento PETG reciclado con la empresa alemana Form Futura para la estimación de costos por cada placa impresa.

<b>Proveedor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso Unitario (KG)</b>	<b>Contenido por Unidad (Gramos)</b>	<b>Precio Unitario (Euros)</b>	<b>Precio (Lempiras)</b>	<b>Impuesto SV Costo Total (Lempiras)</b>
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

*Tabla 8 Precio por Rollo de Filamento*

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

*Tabla 9 Porcentaje de Rollo utilizado por Color*

El cálculo de cuanto filamento se consume de cada color por placa es demostrado en la *Tabla 9 Porcentaje de Rollo utilizado por Color* se tomó en consideración los gramos totales que contiene cada rollo, y los que son consumidos en promedio durante la impresión de las placas vehiculares. El blanco representa el mayor consumo de filamento debido a las diversas capas que representa en cada impresión de placa. Con los datos ya recabados se logró calcular el costo monetario en filamento por cada placa, ver *Tabla 10 Costo de rollo utilizado por placa*.

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

*Tabla 10 Costo de rollo utilizado por placa*

La identificación del consumo de filamento ha sido fundamental para poder encontrar el costo monetario por placa luego de su impresión. Como mencionan Bernal & Akvis (2017) la estimación de costos en las etapas tempranas de un proyecto es indispensable para poder evaluar presupuestos y análisis de una forma eficaz. Para estimar el costo total por placa se

tomó en consideración finalmente el consumo de energía de las impresoras durante el tiempo que están funcionando al fabricar cada placa.

Para poder calcular el costo del consumo eléctrico se tomó en cuenta la cantidad de horas en promedio para la producción de cada placa y el consumo máximo de la impresora Bambu Lab A1 en watts. En base a estos factores y al costo de del KW/H en Honduras se estimó el consumo de energía eléctrica por cada placa impresa, se tomó en consideración el costo del KW/H en el país durante el tercer trimestre de 2024.

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

El costo estimado de consumo eléctrico por placa es de 11.06 lempiras, se multiplico la cantidad de KW/H utilizados por el costo total. Para poder calcular el costo total por placa se suma este costo más el anteriormente calculado del consumo de filamento.

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

Tomando en cuenta estos dos factores que afectan directamente la producción de las placas vehiculares se estimó que el costo por placa será de L.90.53 . El precio se considera optimo y de mucho ahorro considerando los costos de las placas vehiculares metálicas que circulan en el país. El ahorro económico demuestra un gran beneficio al igual que el material reciclado contribuye a la disminución de impacto ambiental. Como menciona Álvarez (2011) la valoración económica anticipada del costo de un proyecto es necesario para evaluar la viabilidad y beneficios de un determinado proyecto.

## **5.6 VALIDACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **5.6.1 VALIDACIÓN MEDIANTE PILOTAJE**

La investigación se validó mediante pilotaje del diseño de la placa vehicular en Solidworks , el primer diseño realizado se imprimió a una menor escala para poder hacer observaciones y correcciones. Se realizó una evaluación de la pieza impresa y con expertos en el área se comprobaron ciertos cambios que se debían realizar en el diseño de la pieza para que su acabado sea de acorde a los estándares. Se imprimió el diseño con las correcciones necesarias y se comprobó que el diseño era el adecuado para poder realizar la impresión a su escala real.

De igual forma se validó el modelo realizado en Flexsim , el cual muestra la situación actual de impresión de placas en la que se tomaron tiempos y cantidad de placas impresas. El modelo fue validado con la comparación estadística de los datos simulados y los datos reales , la validación estadística se realizó por medio de la prueba F para varianzas de dos muestras y luego la prueba T para suponiendo varianzas iguales . El modelo probó ser estadísticamente válido por medio de estas pruebas y por lo tanto se considera que los datos y el modelo fueron realizados de forma correcta.

### 5.6.2 TRIANGULACIÓN CON EXPERTOS

Con el objetivo de validar el estudio la investigación, el estudio ha sido aprobado por cuatro asesores expertos en cada área de importancia para el proyecto realizado. La validación por los expertos ha sido clave en el área de diseño por computadora e impresión 3D , simulación de sistemas industriales y análisis económico de estimación de costo. El conocimiento de cada asesor ha sido fundamental para poder realizar el estudio de la mejor manera y garantizar precisión en los resultados.

<b>Profesión del Asesor</b>	<b>Antecedente</b>	<b>Área de Validación en el Estudio</b>
Ingeniero Industrial	Docente de Unitec TGU	Análisis de resultados y validación simulación por medio de Flexsim
Ingeniero Industrial	Analista y fiscal financieros	Estimación de costos del proceso de impresión
Ingeniero Mecánico	Docente de Unitec TGU	Diseño de pieza por medio de Solidworks e impresión 3D

## VI. CONCLUSIONES

### 6.1 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

1. Se estableció una metodología para la fabricación de placas vehiculares mediante impresión 3D utilizando filamento PETG reciclado. El diseño y modelado en SolidWorks, junto con pruebas piloto en impresoras 3D como Prusa MK4 y Bambu Lab A1, permitió ajustar parámetros críticos. Se determinó que un espesor de 4 mm asegura la resistencia estructural requerida, manteniendo la durabilidad necesaria para su uso vehicular.
2. Los análisis realizados en FlexSim y las pruebas físicas demostraron que el tiempo de impresión de la Pieza A es el cuello de botella en el proceso de fabricación de las placas vehiculares mediante impresión 3D. La etapa de impresión de la pieza A se considera una etapa crítica que requiere atención y mejora. El tiempo promedio de impresión de la pieza A es de 3 horas con 40 minutos, considerando las configuraciones del proceso, este tiempo refleja la necesidad de planificar adecuadamente la capacidad de producción para satisfacer las demandas actuales. Se pueden evaluar mejoras en la tecnología utilizada, como ser impresoras 3D de mayor velocidad, y la necesidad de evaluar mediante simulación del proceso escenarios en los cuales se pudiera mejorar la eficiencia del proceso.
3. Mediante el modelo de simulación de impresión de placas realizado en Flexsim se logró validar la situación actual del proceso en la que con una sola impresora para Pieza A y Pieza B solo se puede fabricar una placa vehicular (Pieza A y B unidas) en una jornada laboral de 8 horas. Con dicha validación del modelo se realizó una propuesta de mejora la cual consiste en la adquisición de más impresoras, tener en dos estaciones diferentes las impresiones de la placa A y la placa B. Con separar las estaciones y colocar una impresora para Pieza A y Pieza B, se logra incrementar la fabricación placas a 2 durante la jornada laboral. Con el uso de Experimenter en el modelo de simulación se lograron evaluar más escenarios acerca de la cantidad de impresoras a necesitar para poder ver el comportamiento de como aumenta la producción

4. Por medio de la estimación de costos se logró calcular el costo promedio por placa, en base a la cantidad de filamento que consume cada placa y también el consumo eléctrico de la maquina mientras realiza la impresión. El costo de la placa es de 90.53 lempiras cada una cuando se realizan con plástico PETG reciclado y en una impresora multicolor Bambu Lab A1.

## **6.2 CONCLUSIÓN GENERAL**

Se logró demostrar que el proceso de impresión 3D de placas vehiculares con plástico PETG reciclado, es viable económicamente reduciendo costos de fabricación por placa. El tiempo de impresión de cada placa puede tardar en promedio 5 horas con 6 minutos lo que lo vuelve un proceso prolongado que puede afectar la capacidad de cumplir con la demanda que hay actualmente en Honduras. El diseño de la placa por medio de computadora para su luego impresión de forma 3D ha sido realizada de forma correcta y cumpliendo con las medidas correspondientes de las placas vehiculares.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **7.1 RECOMENDACIONES DE INVESTIGACIÓN**

- Ampliar el análisis de variables involucradas en 3DP, explorando diferentes tipos de filamentos reciclados. Con el fin de comparas y estudiar la eficiencia, resistencia y durabilidad de los materiales.
- Realizar un diseño que cumpla con las especificaciones pero que tenga un menor tiempo de impresión para una producción más rápida y mejorar la capacidad de producción.
- Utilizar impresoras industriales en la que se pueda imprimir la placa a su escala estándar , sin la necesidad de realizar las piezas separadas y evitar su unión que atrasa el tiempo de producción.
- Para una investigación de una mejor calidad, se les recomienda a futuros investigadores la simulación de tiempos en una impresora que pueda imprimir la placa en su tamaño, de esta forma se agilizará el proceso de producción.

### **7.2 RECOMENDACIONES PARA EL RUBRO O GRUPO DE EMPRESAS**

- Las entidades encargadas de la producción de placas vehiculares con la adopción de tecnología de impresión 3D puede beneficiar el proceso de manufactura, debido a su reducción de costos de producción y el impacto ambiental que genera al utilizarse material reciclado.
- Establecer alianzas con proveedores de materiales reciclados también fortalecería la cadena de suministro, promoviendo la economía circular en la industria y reafirmando el compromiso con la sostenibilidad ambiental.
- Con el objetivo de crear una planta donde se pueda imprimir de forma industrial y a diario , se recomienda la búsqueda de espacios ideales para la impresión 3D que cumpla con las normas eléctricas y de temperatura necesarias.

## **VIII. APLICABILIDAD /IMPLEMENTACIÓN**

El estudio de la presente investigación se realizó a nivel de propuesta en el rubro de la manufactura aditiva (Impresión 3D) , el diseño asistido por computadora y la simulación de sistemas industriales. Los resultados de la investigación funcionan como respaldo para poder tomar decisiones en base a la producción de placas por medio de la impresión 3D de placas vehiculares con filamento hecho a base de PetG reciclado.

Las herramientas utilizadas para la investigación y la impresión 3D de las placas vehiculares pueden ser replicadas por demás investigadores que deseen encontrar la viabilidad técnica de la manufactura aditiva para la producción de placas. Las técnicas de dibujo asistido por computadora y simulación de sistemas industriales pueden ser replicadas para analizar viabilidad de otros productos que se pueden realizar por medio de la Impresión 3D.

## **IX. EVOLUCIÓN DEL TRABAJO ACTUAL/ FUTURO**

Tomando en cuenta las distintas ramas de la ingeniería industrial, la investigación actual se podría fortalecer mediante un experimento con un enfoque basado en la clase de Diseño de Experimentos . Este experimento podría determinar en qué puntos del país se podrían colocar plantas de producción de placas vehiculares para satisfacer la escasez de este producto a nivel nacional. De igual forma se podrá realizar un análisis de las características mecánicas de la placa, sometiéndola a diferentes pruebas mecánicas y físicas que determinen su fuerza y resistencia ante distintos eventos.

## 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=2SJg7VOjQPuf57TtlnuCWTE9\\_I#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=2SJg7VOjQPuf57TtlnuCWTE9_I#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.
- 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>
- Horngren, 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-IA16521889>
- 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-ric.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://repository.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=2SJg7VOjQPuf57TtlNuCwWTE9I#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://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/c28d0604-af60-4b19-9e38-d5318ff3b865/content>

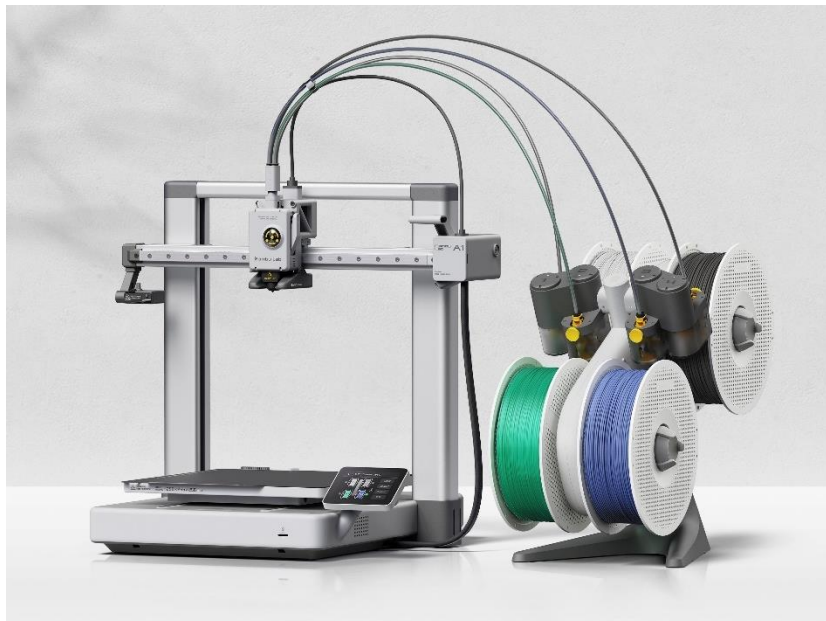
## ANEXOS

### Anexo 1 Impresora 3D Prusa MK 4



Fuente: *Original Prusa MK4S 3D Printer*, n.d.

### Anexo 2 Impresora 3D Bambu Lab A1



Fuente: *Impresora 3D Bambu Lab A1*, n.d.

### Anexo 3 Filamento PETG reciclado



Fuente: Amazon.Com: Glass Feel, n.d.

### Anexo 4 Dimensiones de diseño preliminar de placas en SolidWorks (dimensiones en cm)

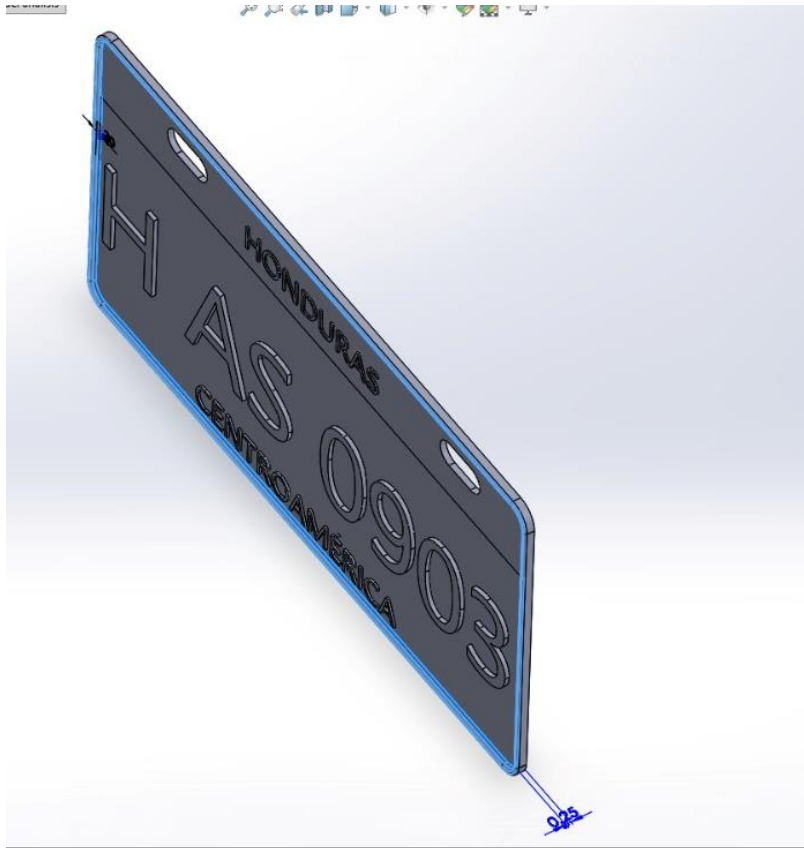




Fuente: Elaboración propia

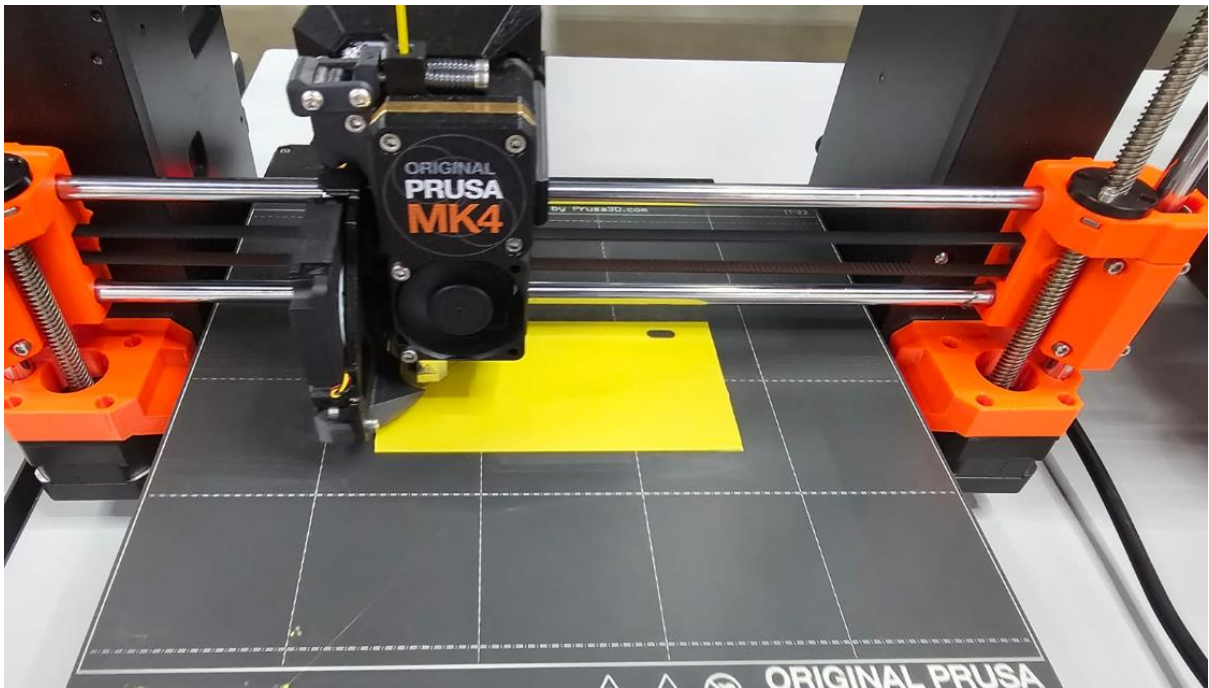
Anexo 5 Dimensiones de diseño final de placas en SolidWorks (dimensiones en cm)





Fuente: Elaboración propia

## Anexo 6 Realización de pilotaje en Prusa MK4



Fuente: Elaboración propia

Anexo 7 Diseño preliminar impreso Prusa MK4



Fuente: Elaboración propia

Anexo 8 Diseño final impreso Prusa MK4



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 9 Revisión de la impresora Bambu Lab A1



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 10 Montar filamento de colores correctos a la impresora



Fuente: Elaboración propia

Anexo 11 Resultado de pilotaje en impresora Bambu Lab A1



Fuente: Elaboración propia

Anexo 12 Diseño final impreso en Bambu Lab A1



Fuente: Elaboración propia

Anexo 13 Tabla de consumo promedio de filamento pieza A

<b>PIEZA A</b>					
<b>Promedio Metros</b>					
	<b>Model</b>	<b>Flushed</b>	<b>Tower</b>	<b>Total</b>	
Promedio	39.065	3.263	0.928	43.256	m
<b>Promedio Gramos</b>					
Promedio	117.832152	9.84824242	2.80184848	130.482242	g
<b>BLANCO</b>					
<b>Promedio Metros</b>					
	<b>Model</b>	<b>Flushed</b>	<b>Tower</b>	<b>Total</b>	
Promedio	24.676	2.25	0.491	30.311	m
<b>Promedio Gramos</b>					
Promedio	74.2477576	5.8799697	1.14115152	81.2688788	g
<b>AZUL</b>					
<b>Promedio Metros</b>					
	<b>Model</b>	<b>Flushed</b>	<b>Tower</b>	<b>Total</b>	
Promedio	5.94	0.91	0.25	7.1	m
<b>Promedio Gramos</b>					
Promedio	18	2.75757576	0.75757576	21.5151515	g
<b>NEGRO</b>					
<b>Promedio Metros</b>					
	<b>Model</b>	<b>Flushed</b>	<b>Tower</b>	<b>Total</b>	
Promedio	8.449	0.689	0.361	12.593	m
<b>Promedio Gramos</b>					
Promedio	25.5843939	1.21345455	0.90312121	38.1606061	g

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14 Tabla de consumo promedio de filamento pieza B

<b>PIEZA B</b>					
<b>Promedio Metros</b>					
	<b>Model</b>	<b>Flushed</b>	<b>Tower</b>	<b>Total</b>	
Promedio	7.03	2.67	0.81	10.51	m
<b>Promedio Gramos</b>					
Promedio	21.14	8.02	2.45	31.61	g
<b>BLANCO</b>					
<b>Promedio Metros</b>					
	<b>Model</b>	<b>Flushed</b>	<b>Tower</b>	<b>Total</b>	
Promedio	4.59	1.79	0.39	6.76	m
<b>Promedio Gramos</b>					
Promedio	13.79	5.38	1.16	20.33	g
<b>AZUL</b>					
<b>Promedio Metros</b>					
	<b>Model</b>	<b>Flushed</b>	<b>Tower</b>	<b>Total</b>	
Promedio	0.7	0.36	0.09	1.15	m
<b>Promedio Gramos</b>					
Promedio	2.12	1.09	0.26	3.47	g
<b>NEGRO</b>					
<b>Promedio Metros</b>					
	<b>Model</b>	<b>Flushed</b>	<b>Tower</b>	<b>Total</b>	
Promedio	1.74	0.51	0.34	2.6	m
<b>Promedio Gramos</b>					
Promedio	5.24	1.55	1.02	7.81	g

Fuente: Elaboración propia