

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA ESTABLECER UNA FÁBRICA DE
FILAMENTO PARA IMPRESIÓN 3D UTILIZANDO TEREFTALATO DE
POLIETILENO RECICLADO**



DEIBY VERJAN RODRIGUEZ

dverjan@ucundinamarca.edu.co

JUAN SEBASTIAN PEÑALOZA QUINTERO

jspenaloz@ucundinamarca.edu.co

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SOACHA, CUNDINAMARCA**

2025

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA ESTABLECER UNA FÁBRICA DE
FILAMENTO PARA IMPRESIÓN 3D UTILIZANDO TEREFTALATO DE
POLIETILENO RECICLADO**



**DEIBY VERJAN RODRIGUEZ
JUAN SEBASTIAN PEÑALOZA QUINTERO**

**Proyecto de grado para optar al
Título de ingeniero industrial**

**DIRECTORA:
DIANA KARINA LÓPEZ CARREÑO
M Eng. Líder de semillero de investigación SIPMA**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SOACHA, CUNDINAMARCA**

2025

Nota de aceptación:

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

Firma del jurado 3

Firma de la directora

Soacha, Cundinamarca XXXXXX XXXX

Dedicatoria:

A mis padres, Sandra y Omar:

Sin ustedes no sería la persona que soy ni estaría donde estoy hoy. Cada logro que alcance será siempre gracias a ustedes y para ustedes.

Juan Sebastián Peñaloza Quintero

Dedico este proyecto con profundo amor y respeto a la memoria de Anlly Daniela Poveda Estrada, mi amiga durante ocho años inolvidables, quien dejó una huella imborrable en mi vida.

Compartimos toda nuestra etapa de bachillerato, un tiempo lleno de aprendizajes, risas, sueños y complicidades que siempre llevaré en el corazón. Tu amistad fue un regalo inmenso, tu compañía una fortaleza y tu presencia una luz que aún me acompaña, aunque ya no estés físicamente.

Hoy, al alcanzar esta meta, no puedo evitar pensar en todo lo que vivimos y en cuánto significaste para mí. Este logro también es tuyo, porque tu apoyo, tus palabras y tu cariño me ayudaron a construir el camino que hoy concluyo.

Nunca olvidaré todo lo que compartimos. Gracias, por tanto. Siempre vivirás en mi memoria y en mi corazón.

Deiby Verjan Rodriguez

Agradecimientos:

Este proyecto de grado es el reflejo de muchos años de esfuerzo, aprendizajes, desafíos y, sobre todo, del apoyo incondicional de personas maravillosas que han estado presentes en mi vida.

Quiero agradecer profundamente a mis padres, Luz Esmeralda Rodriguez y Harvey Camilo Verjan, por su amor, sacrificio y por ser siempre mi mayor ejemplo de fortaleza. A mis hermanos, Zahira Hadi Verjan y Christian Verjan, quienes han sido mi mayor motivación para convertirme en un ejemplo para ellos.

Agradezco también a todos quienes hicieron parte de mi proceso académico, comenzando por mis profesores del colegio: Jeniffer Herrera, Yaneth Puentes, Luz Gámez, Dionangel Ovallos, Mauro Baquero, Alejandro Montaña y Yohan Correa. Gracias por sembrar en mí las bases del conocimiento y la disciplina. A mi familia, por ser siempre un pilar: a mi abuela Rosa Elvira Hernández, a mi tío Wilson Verjan y a mi padrino Javier Verjan, quienes me han acompañado con cariño y sabios consejos.

A mis compañeros de universidad, con quienes compartí tantos momentos de crecimiento. A mis docentes universitarios, especialmente a la profesora Karina López, tutora de este trabajo, y a los profesores Micher Gonzales y Manuel Barón, quienes fueron inspiración constante para seguir adelante con mi carrera.

Agradezco de corazón al personal médico y a todos los trabajadores del Hospital Militar Central, quienes me brindaron apoyo y cuidado en momentos difíciles. Su labor hizo una gran diferencia en mi vida.

A mis amigos, Andrés Felipe Chávez, Andrés Felipe Betancourt, Katherin Martínez, María Paula Ayala y Carlos Piragauta, gracias por estar siempre, en las buenas y en las malas, con palabras de aliento y compañía sincera.

A mi compañero de tesis Juan Sebastián Peñaloza, por su compromiso, apoyo y dedicación en cada etapa de este proceso. Gracias por compartir este camino académico con responsabilidad y compañerismo.

Y un agradecimiento muy especial a Estela Estrada, quien ha sido como una segunda madre para mí. Su cariño, comprensión y apoyo han sido un regalo invaluable.

A cada una de estas personas, gracias por creer en mí. Este logro también es suyo.

Deiby Verjan Rodriguez

En primer lugar, agradezco a la vida, por brindarme la oportunidad de crecer, aprender y superar los retos que se me presentaron a lo largo de este proceso.

A mis padres, por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo económico y moral, que ha sido fundamental en todo este proceso.

A mi familia, por su apoyo incondicional y por estar conmigo en los momentos más difíciles, siempre dándome fuerzas para seguir adelante.

A mi amigo y compañero de tesis, Deiby Verjan, por su entrega, por los traspasos compartidos, por cada momento vivido durante este proceso, y por las enseñanzas que enriquecieron este camino.

A la Universidad, por brindarme los medios y la oportunidad de formarme tanto como persona como profesional a lo largo de mi carrera.

A Diana Karina López, docente de la carrera y tutora de nuestro proyecto, por su valioso acompañamiento, por los conocimientos y experiencias compartidas que fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Su apoyo marcó una diferencia significativa en este proceso.

Al docente Micher Gonzales, gracias a su pasión por la enseñanza, su compromiso y su manera de conectar con los estudiantes, valoré cada clase y entendí que compartir conocimientos es una experiencia significativa.

A mis amigos: Katherin Martínez, Cristian Carranza, Andrés Betancour y Andrés Chávez, con quienes compartí tantas experiencias y conocimientos durante la carrera, gracias por hacer más ameno este camino y por las experiencias inolvidables que hemos vivido juntos.

A mi primo Daniel Quintero, por su compañía y soporte cuando más lo necesité.

A mis hermanas, por su paciencia y apoyo incondicional. Gracias también por guiarme como hermanas mayores y por ayudarme a crecer y a encontrar el camino en todo este proceso, siempre con mucho amor.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de alguna manera, contribuyeron con su apoyo y colaboración en la culminación de este trabajo. Su apoyo ha sido fundamental en cada etapa de este proceso.

Juan Sebastián Peñaloza Quintero

Contenido

	Pág.
Líneas de investigación	17
Resumen	19
Abstract	20
1. Problema.....	21
1.1. Introducción	21
1.2. Formulación del problema	21
1.3. Pregunta problema	25
2. Justificación	25
3. Marco de referencia	28
3.1. Estado del arte	28
3.1.1. Panorama internacional	28
3.1.2. Panorama nacional	31
3.1.3. Panorama Regional	34
3.2. Fundamentación teórica	34
3.2.1. Aspecto técnico.....	34
3.2.2. Aspecto ambiental.....	44
3.2.3. Aspecto de materiales.....	45
3.3. Marco conceptual	46
4. Objetivos	51
4.1. General:.....	51
4.2. Específicos:	51
5. Alcance	52
6. Limitaciones	53
7. Metodología	55
7.1. Fase I: Revisión y diagnóstico del potencial de impresión 3D con material reciclado.....	55

7.1.1.	Viabilidad y limitaciones del PET reciclado en manufactura aditiva por método PRISMA	55
7.1.2.	Diagnóstico de patrones de reciclaje	57
7.2.	Fase II: Diseño de planta y procesos de producción	58
7.2.1.	Requerimiento de equipos.....	58
7.2.2.	Diseño del diagrama de flujo de procesos.....	58
7.2.3.	Requerimiento de talento humano por equipo.....	59
7.2.4.	Estimación de espacio requerido por método Guerchet.....	59
7.2.5.	Ubicación proyectada por método de centro de gravedad	60
7.2.6.	Diseño de planta.....	61
7.3.	Fase III: El mercado y partes interesadas	61
7.3.1.	Estudio de mercado.....	61
7.3.2.	Plan estratégico.....	62
7.3.3.	Análisis de viabilidad económica	63
7.4.	Fase IV: Ruta para la puesta en marcha	63
7.4.1.	Evaluación de impacto ambiental	63
7.4.2.	Evaluación de problemas y limitaciones	64
8.	Ejecución	66
8.1.	Revisión y diagnóstico del potencial de impresión 3D con material reciclado.	66
8.1.1.	Viabilidad y limitaciones del PET reciclado en manufactura aditiva por método PRISMA	66
8.1.2.	Diagnóstico de patrones de reciclaje	82
8.2.	Fase II: Diseño de planta y procesos de producción	106
8.2.1.	Requerimiento de equipos.....	106
8.2.2.	Diseño de diagrama de flujo de procesos	129
8.2.3.	Requerimiento de talento humano por equipo.....	138

8.2.4.	Estimación de espacio requerido por método Guerchet.....	141
8.2.5.	Ubicación proyectada por método de centro de gravedad	148
8.2.6.	Diseño de planta.....	154
8.3.	Fase III: El mercado y partes interesadas	156
8.3.1.	Estudio de mercado.....	156
8.3.2.	Plan estratégico.....	171
8.3.3.	Análisis de viabilidad económica	183
8.4.	Fase IV: Ruta para la puesta en marcha	198
8.4.1.	Evaluación de impacto ambiental	198
8.4.2.	Evaluación de problemas y limitaciones.....	202
9.	Conclusiones	207
10.	Recomendaciones	209
11.	Referencias.....	210

Lista de figuras

	<i>Pág.</i>
Figura 1 Numero de publicaciones por año	69
Figura 2 Distribución geográfica de publicaciones.....	72
Figura 3 Diagrama de flujo PRISMA en 4 niveles	74
Figura 4 Distribución de género de las personas encuestadas	84
Figura 5 Distribución etaria de las personas encuestadas.....	85
Figura 6 Distribución de personas por comuna.....	86
Figura 7 Distribución porcentual de empresas por comuna.....	87
Figura 8 Número de empresas por comuna	88
Figura 9 Cantidad estimada de botellas desechadas por hogar en una semana	89
Figura 10 Frecuencia de separación de botellas plásticas por hogar en una semana	90
Figura 11 Índice de separación de residuos por comuna	91
Figura 12 Distribución de desechos plásticos según el lugar de disposición....	92
Figura 13 Interés en la manufactura aditiva	93
Figura 14 Proporción de encuestados que son empresarios	94
Figura 15 Sectores económicos de los empresarios	95
Figura 16 Cantidad estimada de botellas desechadas por empresa en una semana	96
Figura 17 Distribución de desechos plásticos de empresas según el lugar de disposición	97
Figura 18 Nivel de interés en la impresión 3D por parte de las empresas	98
Figura 19 Proporción de aplicaciones potenciales según categoría	101
Figura 20 Proporción de limitaciones según categoría	104
Figura 21 Disposición a invertir en una impresora 3D ante la promesa de un beneficio económico	105
Figura 22 Percepción sobre el uso de plásticos posconsumo en impresión 3D	106
Figura 23 Línea de lavado para plástico PET	109

Figura 24 Referencia tolva de alimentación	110
Figura 25 Referencia de cinta transportadora de entrada.....	111
Figura 26 Referencia Pre-lavadora	112
Figura 27 Referencia de desfibadora de plástico.....	113
Figura 28 Referencia trituradora de plástico	114
Figura 29 Referencia lavadora por fricción	115
Figura 30 Referencia lavadora flotante	116
Figura 31 Referencia secadora	117
Figura 32 Referencia silo de almacenaje	118
Figura 33 Referencia planta de fabricación de filamento	119
Figura 34 Partes de planta de fabricación de filamento	120
Figura 35 Referencia mezclador de material	120
Figura 36 Referencia cargador de material por vacío	121
Figura 37 Referencia de tolva secadora	122
Figura 38 Referencia de extrusora de un solo tornillo.....	123
Figura 39 Referencia tanques de enfriamiento	124
Figura 40 Referencia sensor láser	124
Figura 41 Referencia Máquina tractora.....	125
Figura 42 Referencia embobinador.....	126
Figura 43 Referencia acumulador de filamento	127
Figura 44 Dimensiones planta de fabricación de filamento.....	127
Figura 45 Referencia máquina empacadora al vacío.....	128
Figura 46 Diagrama de flujo de procesos: Acondicionamiento de material	129
Figura 47 Diagrama de flujo de procesos: Fabricación de filamento de impresión 3D.....	134
Figura 48 Mapa de ubicación de centros de acopio.....	149
Figura 49 Ubicación proyectada de la planta de fabricación de filamento	153
Figura 50 Cotización de Bodega.....	154
Figura 51 Propuesta de diseño de planta	155
Figura 52 Interés en la impresión 3D por género.....	157
Figura 53 Interés en la impresión 3D por edad	158
Figura 54 Interés en impresión 3D por tipo de empresas	159

Figura 55 Precios percibidos como aceptables por los clientes.....	162
Figura 56 Percepción general de precios de los filamentos comerciales.....	163
Figura 57 Influencia del costo de envío en la intención de compra.....	164
Figura 58 Canales de compra preferidos por los clientes	166
Figura 59 Dificultad para conseguir el producto en la zona	166
Figura 60 Canales preferidos para recibir información de productos.....	168
Figura 61 Fuentes principales para conocer nuevos productos.....	169
Figura 62 Matriz FODA.....	171
Figura 63 Mapa de procesos	175
Figura 64 Diagrama de Cadena de Valor	180
Figura 65 Consumos de planta de acondicionamiento	185
Figura 66 Matriz Leopold	200
Figura 67 Gráfico de zonas de poder.....	205

Lista de tablas

	<i>Pág.</i>
Tabla 1 Número de publicaciones por país.....	70
Tabla 2 Resumen de estudios revisados	76
Tabla 3 Tabla de Distribución Normal.....	83
Tabla 4 Potenciales aplicaciones de la impresión 3D en el ámbito empresarial	99
Tabla 5 Barreras para la implementación de la impresión 3D en entornos empresariales	103
Tabla 6 Dimensiones de maquinaria.....	142
Tabla 7 Número de lados de trabajo por máquina	143
Tabla 8 Altura de elementos móviles	145
Tabla 9 Altura de elementos estáticos	146
Tabla 10 Área total requerida para la planta	147
Tabla 11 Calificación según la calidad del material	150
Tabla 12 Empresas de acopio de plástico en el municipio	151
Tabla 13 Segmentación: Actividad Económica	160
Tabla 14 Costo unitario de producción	184
Tabla 15 Ponderado de costos de envío según región.....	187
Tabla 16 Tasas de interés para créditos de libre inversión.....	187
Tabla 17 Resumen de datos para análisis de viabilidad	188
Tabla 18 Valor servicio del agua.....	189
Tabla 19 Valor del servicio energético	189
Tabla 20 Inflación en Colombia de la última década.....	191
Tabla 21 Proyección de estado de resultados para los próximos diez años...	192
Tabla 22 Tabla de amortización.....	193
Tabla 23 Método WACC	194
Tabla 24 Indicadores financieros para escenario optimista	195
Tabla 25 Análisis de sensibilidad de precio y unidades a comercializar	196
Tabla 26 Indicadores financieros para escenario pesimista	197
Tabla 27 Evaluación de Magnitud (Leopold).....	198

Tabla 28 Evaluación de Importancia (Leopold).....	199
Tabla 29 Valoración de Impactos (Leopold)	201
Tabla 30 Factores implícitos en la principal problemática del proyecto	202
Tabla 31 Criterios de calificación de los factores	204
Tabla 32 Ponderación de influencia entre factores	204
Tabla 33 Consolidado de resultados matriz Vester.....	205

Líneas de investigación

De acuerdo con las directrices de la universidad se determina en el artículo 3° del estatuto general de la institución, que se debe implementar y articular el enfoque translocal asumido en el MEDIT, a través de las líneas translocales, desde la dirección de investigación universitaria y desde las perspectivas de facultades donde se prioriza cada una de las unidades académicas afines al campo del saber, para este proyecto se determina que la línea translocal afín al propósito del proyecto es la correspondiente a la transmodernidad, naturaleza, ambiente, biodiversidad, ancestralidad y familia. y con el enfoque de la ingeniería industrial, como línea complementaria de la facultad de ingeniería se determina que la **“15. gestión tecnológica aplicada a los sectores agropecuarios, agroindustrial y ambientales”** corresponde a el enfoque que se desea dar al proyecto.

“Línea 5. Transmodernidad, naturaleza, ambiente, biodiversidad, ancestralidad y familia.

El cambio climático global y los daños a los ecosistemas naturales ocasionados por la humanidad han generado una crisis ambiental y socio ecológica que se manifiesta a escalas locales, regionales y global. (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), Iniciativas como Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ONU, 2015) marcan un esfuerzo sin precedentes para atender esta crisis. (Gavito et al.,2017).

En la actualidad es de vital importancia el papel de la familia como agente de cambio, entorno al cuidado del ambiente, biodiversidad y la naturaleza; los impactos y amenazas del cambio climático han obligado a tomar medidas urgentes para mitigar el daño ambiental ya realizado, controlando los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y a adaptarse en forma global y local a los efectos irreversibles causados por el mismo, Para ello, la facultad de ingeniería se propone a través de sus grupos y semilleros de investigación, desarrollar proyectos e investigaciones que permitan mejorar indicadores

ambientales. (Ricardo Quiroga, María Claudia Perazza, David Corderi, Onil Banerjee, Jamie Cotta, Graham Watkins, 2016). Con base en lo anterior, la Facultad de Ingeniería aporta en el eje temático de energías renovables y ecología industrial logrando garantizar la biodiversidad sin alterar su funcionamiento y componentes esenciales implementando tecnologías relacionadas con el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables haciendo uso de conocimientos multidisciplinarios, con el fin de aportar a la transformación del territorio desde lo local a lo translocal.”(Universidad de Cundinamarca, 2021)

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la viabilidad de establecer una fábrica de filamento para impresión 3D a partir de tereftalato de polietileno (PET) reciclado en Soacha. Para ello, se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura sobre el uso del PET reciclado como insumo en la fabricación de filamento, seguida de una recolección de datos aplicada a hogares y unidades productivas con el fin de identificar hábitos de reciclaje y disponibilidad de materia prima. Con base en esta información, se definieron los requerimientos técnicos y de talento humano, se seleccionó la maquinaria adecuada, se diseñaron el proceso productivo y la distribución de planta, y se estimaron el área necesaria mediante el método Guerchet y la ubicación óptima mediante el modelo del centro de gravedad. En la fase de análisis de mercado y partes interesadas, se caracterizó el nicho de mercado objetivo aplicando un estudio de mercado basado en la metodología de las 4C, lo que permitió formular un plan estratégico que incluyó el mapa de procesos, el análisis DOFA y el diagrama de cadena de valor, con el fin de establecer las bases operativas de la planta. Posteriormente, se elaboraron proyecciones financieras a 10 años que evidenciaron una alta rentabilidad, con indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Actual Neto (VAN), el Retorno sobre Activos (ROA), el Retorno sobre el Patrimonio (ROE), la relación costo/beneficio y la proyección del Valor Presente Neto (VPN), incluyendo la estimación de utilidades netas para el primer año. Además, se evaluaron los impactos ambientales mediante el método de Leopold, clasificando el proyecto como de bajo impacto ambiental. Finalmente, se identificaron y gestionaron los factores clave que limitaron el desarrollo del proyecto utilizando la matriz de Vester. En conjunto, los resultados demuestran que el proyecto es técnica, comercial, financiera y ambientalmente viable.

Abstract

This research aimed to determine the feasibility of establishing a 3D printing filament factory from recycled polyethylene terephthalate (PET) in Soacha. To this end, a systematic literature review was conducted on the use of recycled PET as an-input in filament manufacturing, followed by data collection from households and production units to identify recycling habits and raw material availability. Based on this information, the technical and human talent requirements were defined, appropriate machinery was selected, the production process and plant layout were designed, and the required area was estimated using the Guerchet method and the optimal location using the center of gravity model. In the market and stakeholder analysis phase, the target market niche was characterized by applying a market study based on the 4C methodology, which allowed for the formulation of a strategic plan that included a process map, SWOT analysis, and a value chain diagram to establish the plant's operational foundations. Subsequently, 10-year financial projections were developed, demonstrating high profitability, using indicators such as the Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV), Return on Assets (ROA), Return on Equity (ROE), cost-benefit ratio, and Net Present Value (NPV) projection, including estimated net profits for the first year. Furthermore, environmental impacts were assessed using the Leopold method, classifying the project as having low environmental impact. Finally, the key factors limiting project development were identified and managed using the Vester matrix. Overall, the results demonstrate that the project is technically, commercially, financially, and environmentally viable.

1. Problema

1.1. Introducción

Hoy el plástico es un material presente en todos los sectores económicos por su versatilidad, durabilidad y propiedad de reciclarse. Convertido en pilar fundamental de la industria moderna, su uso masivo ha generado desafíos ambientales difíciles de abordar por la generación masiva de residuos, que dificulta la recolección y reciclaje de este material, provocando contaminación del suelo y los cursos fluviales. Para afrontar esta problemática resulta imperativo explorar estrategias sostenibles que promuevan la reutilización de estos desechos mitigando su impacto en el ambiente.

Bajo esta premisa surge este proyecto de investigación donde se propone fabricar filamento de impresión 3D a partir de PET reciclado, pretendiendo incentivar la economía circular y el uso de esta tecnología en la industria. Además de estudiar las implicaciones técnicas, económicas y ambientales del establecimiento de una planta en el municipio de Soacha para el uso de este tipo de polímero como insumo útil y versátil en la industria manufacturera.

1.2. Formulación del problema

La creciente generación de residuos plásticos en el país constituye una problemática de suma gravedad. La acumulación de estos desechos ha alcanzado niveles críticos, lo que plantea serias implicaciones para el medio ambiente. Según la Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP) & Greenpeace Colombia (2019) cada hogar colombiano genera aproximadamente 4,5 kilos de basura al día donde el 60% de estos residuos corresponden a algún tipo de plástico, y en Bogotá al día se eliminan casi 6300 toneladas de residuos, según este informe para el año 2018 había aproximadamente 150 millones de toneladas de plásticos en el océano, y estima que 8 millones de toneladas ingresan al océano anualmente. En 2050 habrá 32 millones de toneladas más en el océano, alcanzando así un estimado

de 182 millones de toneladas, lo que implicaría que en cuanto a peso habrá más basura que peces en el océano; más de 1200 especies que habitan los océanos se ven afectadas. Cabe destacar que, de acuerdo con Sánchez (n.d.) el PET tarda entre 100 y 1000 años en descomponerse por completo, lo que agrava significativamente la dificultad de abordar esta problemática.

En Soacha, la gestión y tratamiento de residuos constituye una cuestión de vital importancia, debido en gran medida a la significativa cantidad de desechos que no reciben un manejo adecuado. De acuerdo con el informe de la Contraloría Departamental de Cundinamarca (2018), El departamento genera **47.128** toneladas de desechos al mes, donde el municipio de Soacha produce con **10.323** toneladas de residuos sin tratamiento, lo que equivale al 20 % de la emisión de estos materiales en Cundinamarca. Además, el informe, en colaboración con las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), las alcaldías municipales, las empresas de aseo y la Superintendencia de Servicios públicos, estima que en todo el departamento hay aproximadamente 2,731 recicladores, de los cuales solo 822 están formalizados.

Entre 2016 y 2017, de los 116 municipios con los que cuenta el departamento, 14 implementan planes completos de manejo para los residuos, y si bien 95 de ellos ejecutan algún tipo de acción para reaprovechar el papel, el cartón o el plástico, sólo el 30% del territorio cuenta con la infraestructura necesaria para realizar la recolección adecuada. Adicional a esto la falta de tratamiento de los residuos sólidos se evidencia en la **contaminación de humedales**. En Soacha **resaltan el humedal Tierra Blanca, Tibanica y Neuta**. Según Morales (2020) para RCN radio, el problema de la contaminación en Soacha no solo impacta a nivel ambiental, sino que trae consigo inconvenientes de carácter social y hasta educación ambiental. Esto se evidencia en las declaraciones de los habitantes de la zona circundante al humedal Tierra Blanca, Quienes muestran desconocimiento de la importancia de los humedales, indiferencia a las consecuencias ambientales del descuido del humedal e, incluso, el desconocimiento del propio nombre del humedal. Así mismo, declaran no sentirse seguros debido al establecimiento de personas dedicadas al expendio y tráfico de drogas en la zona, una consecuencia directa del abandono del

lugar por la contaminación con residuos sólidos. Prefieren ignorar las condiciones ambientales, ya que este no es el problema más grande o por lo menos el más evidente.

Otro gran inconveniente asociado al manejo de residuos es el proceso de reciclaje del plástico per se, conforme al United Nations Development Programme (2023) hoy solo el 9 % de los residuos plásticos generados a nivel mundial son reciclados, y a su vez un 12 % es incinerado, lo que significa que el 79 % acaba en vertederos o en la naturaleza.

Pero ¿por qué no se recicla más?, el proceso empleado para la reutilización de los plásticos si bien puede aparentar ser simple, en la práctica se enfrenta a grandes inconvenientes como lo son:

- Contaminación: los plásticos desechados suelen venir acompañados con comida u otros materiales que se interponen en el tratamiento para su reciclaje, dificultan la clasificación y separación, y en ocasiones pueden llegar a dañar equipos empleados en el proceso.
- Químicos nocivos: Los plásticos están compuestos por una mezcla de aditivos químicos que los dota de color, flexibilidad y repelencia al agua. Estas sustancias son perjudiciales para la salud humana. Además, el proceso de reciclaje puede aumentar la exposición a estos químicos, comprometiendo la salud de los trabajadores a largo plazo.
- Rentabilidad: La gran variedad de plásticos, con propiedades únicas que afectan su estructura y características, implica que la complejidad de su tratamiento varíe según el tipo de plástico. Por lo tanto, para reciclar un polímero de manera eficaz, es necesario disponer de equipos y procesos específicos adaptados al material en cuestión.

Es crucial abordar esta problemática debido a sus graves repercusiones ambientales y sociales. La contaminación de ecosistemas vitales, como los océanos y humedales, y las desigualdades en comunidades afectadas por el mal manejo de desechos se profundizarán si no se actúa. La inacción ante la baja tasa de reciclaje y la falta de infraestructura comprometerían aún más la salud pública y la calidad de vida. He aquí el objeto de esta investigación: plantear un proceso de fabricación de filamento para impresión 3D reutilizando estos materiales, con el fin de incentivar el reaprovechamiento del PET, contribuir a la industria manufacturera y mitigar el impacto ambiental.

1.3. Pregunta problema

¿Qué viabilidad hay para establecer una fábrica de filamento para impresión 3D con tereftalato de polietileno reciclado en Soacha?

2. Justificación

El PET (tereftalato de polietileno) es uno de los polímeros más utilizados en los hogares, Amico (2021) en un artículo para el blog de Limepack, este material se utiliza principalmente en envases y recipientes de alimentos. Su proceso de fabricación no involucra el uso de otros polímeros reciclados, lo que garantiza que sea un plástico completamente nuevo. El PET tiene un origen natural, ya que se deriva de la nafta, un subproducto del petróleo.

Este material se caracteriza por su ligereza y durabilidad además de contar con la propiedad de que se puede reciclar o reutilizar, lo que en teoría reduce la cantidad de desechos en vertederos y océanos. Sin embargo, el panorama contemporáneo refleja una situación poco alentadora: se genera una cantidad masiva de residuos día con día, además del poco o nulo interés colectivo de alargar su ciclo de vida.

En la búsqueda de soluciones innovadoras relacionadas a la ingeniería industrial para abordar la problemática de los residuos plásticos, surge la propuesta de estudio en la viabilidad para establecer una planta de producción en Soacha donde

se fabrique filamento de impresión 3D con el uso de tereftalato de polietileno reciclado como materia prima. Este proyecto de investigación no solo ofrece una alternativa que pretende mitigar la cantidad de desechos del municipio, sino que también presenta una serie de beneficios para la comunidad y el medio ambiente:

- **Creación y formalización de empleo:** La clasificación y manejo de materiales PET por parte de empresas recicladoras puede generar oportunidades laborales en Soacha y otras comunidades locales, promoviendo el crecimiento de esta industria. Según Informa Colombia (n.d.) , en Soacha existen 101 empresas formales dedicadas a la recuperación, recolección, tratamiento y disposición de desechos. Asimismo, este proceso impulsa la formalización y empleo de los recicladores de oficio en el municipio, quienes desempeñan un papel clave en la cadena de reciclaje., los cuales, según la Alcaldía de Soacha, en 2022 se contaban por miles, por la cantidad de 2.682 recicladores. que por medio de esta iniciativa verían dignificado su trabajo ya que estas personas son consideradas como población vulnerable de especial protección, debido a las condiciones de su trabajo y sus riesgos asociados, además de la alta informalidad del oficio., La Alcaldía agrega que estos trabajadores son vitales en la gestión municipal de los residuos sólidos y en la cadena de aprovechamiento de estos y la sostenibilidad del municipio
- **Reducción De Residuos:** El reciclaje de PET ayuda a reducir la cantidad de desechos plásticos que terminan en vertederos o en la naturaleza, lo que contribuye a reducir el impacto negativo en el medio ambiente.
- **Conservación De Recursos:** Al reciclar este material se evita la necesidad de extraer y procesar materias primas vírgenes como el petróleo, que se utiliza para la producción de plástico, esto ayudaría a conservar los recursos naturales a largo plazo.
- **Economía Circular:** se busca promover un enfoque de economía circular donde los materiales se reciclan y reutilizan en lugar de desecharse después de un solo uso, esta filosofía resulta más

sostenible a largo plazo además de reducir la dependencia al uso de materias primas nuevas.

- **Innovación Tecnológica:** El reúso de material PET reciclado en la industria de Soacha puede estimular la innovación en tecnología de fabricación aditiva y promover el desarrollo de proyectos creativos y sostenibles en diversos campos. Impresión 3D (fabricación aditiva): La irrupción de la tecnología de impresión 3D ha marcado un punto de inflexión en la industria, introduciendo un nivel de innovación y transformación que trasciende las limitaciones tradicionales de fabricación. La importancia de las impresoras 3D en la industria es innegable y abarca una amplia gama de aplicaciones, desde la agilización de la producción, la personalización de productos y la optimización de procesos.
- **Concienciación Ambiental:** Al promover el reciclaje de PET y su uso en la industria se puede aumentar la conciencia pública sobre el impacto de los desechos plásticos en el ambiente, como lo es la contaminación de ríos y humedales del municipio, esto puede llevar a cambios de comportamiento positivos y una mayor participación de la comunidad en iniciativas de reciclaje.

En conclusión, la propuesta de establecer una planta de producción de Soacha para fabricar filamento de impresión 3D a partir de tereftalato de polietileno reciclado presenta una oportunidad de gran valor para abordar la problemática asociada a los residuos plásticos de manera integral. Además de los beneficios evidentes como la creación de empleo, y la reutilización de residuos, esta iniciativa impulsa la economía circular, fomenta la innovación tecnológica, y promueve mayor conciencia ambiental en el municipio. Por último, ofrece una solución sostenible que puede contribuir significativamente a un futuro más próspero y respetuoso con el medio ambiente.

3. Marco de referencia

3.1. Estado del arte

3.1.1. Panorama internacional

Conforme a lo investigado por Mora (2021) en su tesis de maestría, desarrollada en un marco global de alta contaminación y el marco local de la investigación se encontró una ineficiencia en la gestión de residuos plásticos para su reciclaje en la ciudad de **Guayaquil (Ecuador)**, lo que abre la puerta a una oportunidad de negocio en esta actividad.

Se desarrolló bajo una metodología con enfoque mixto de diseño no experimental de tipo transversal con alcance descriptivo y método deductivo. Esta investigación se valió de encuestas y entrevistas, con una población de personas de entre 18 a 75 años de la ciudad que equivale al **63,2%** de la población total, y una muestra de 384 personas, donde se preguntó información referente al reciclaje en los hogares, con factores como: si se hace o no, con qué frecuencia, el tipo de materiales reciclados, las preferencias a la hora de reciclar y conocimientos generales sobre el reciclaje en la ciudad, en semejanza al artículo científico desarrollado por Bernal & Ibarrola (2023) en **Paraguay** para ser expuesto en el *20° congreso Latino-americano de software livre e tecnologías abiertas*. Donde se desarrolló la caracterización de los plásticos más utilizados en una muestra representativa de los hogares en Paraguay, donde se encontró que el 100% de los hogares utilizan el plástico diariamente pero solo el **65%** de los hogares contribuye al reciclaje.

Dado lo anterior para la tesis de Viviana Mora se planteó una propuesta de negocio identificando el diseño organizacional, planeación estratégica, competidores y proveedores, el marco de procesos, cadena de valor, la maquinaria requerida, proyecciones de ingresos y egresos, y proyección de estados financieros. Cifuentes (2023)

Como resultado se determinó que a nivel local hay una gran demanda por parte de empresas de hojuelas que provienen de la producción del PET, además de que la propuesta de negocio tiene un atractivo financiero debido a su **TIR de 20.7%**, y que la recuperación del capital invertido se logra en **tres años siete meses y 24 días**, por lo que se consideró factible el plan de negocio.

Por otro lado, con un enfoque técnico centrado en la materia prima se lleva a cabo la tesis de grado titulada “Caracterización De Filamento PLA Reciclado Para Impresión 3D” elaborada por Delgado (2021) en **Tenerife, España**. Esta buscó producir filamento PLA a partir de piezas impresas desechadas bajo un proceso sostenible cuyo objetivo fue reducir la cantidad de desechos plásticos generados durante la fabricación aditiva. frente al paradigma coyuntural de las complicaciones en la producción de estos filamentos.

El proyecto fue dividido en 2 etapas, primero se diseñaron e instalaron elementos que mejoraron la calidad del filamento fabricado por la extrusora. Después, se fabricó un filamento prototipo, a partir de los residuos triturados de impresiones anteriores, que se utilizó para imprimir probetas normalizadas, las cuales se sometieron a las pruebas de resistencia mecánica.

Se determinaron las propiedades del material obtenido por medio de pruebas de resistencia, para su posterior comparación con filamentos industriales. Bajo esta premisa se realizaron en el laboratorio ensayos a probetas impresas con PLA industrial y luego a probetas fabricadas con el PLA reciclado, una de las pruebas fue el ensayo de tracción donde se consultó las normas **UNE-EN ISO 527-1:2019** y **UNE-EN ISO 527-2:2012**, para el ensayo de compresión se consultó la norma **UNE-EN ISO 604:2003**, y para el ensayo de flexión se consultó la norma **UNE-EN ISO 178:2020**.

Para las pruebas se emplearon una serie de seis probetas fabricadas con PLA industrial, cuyos resultados fueron comparados con los obtenidos en 6 probetas impresas a partir de PLA reciclado, finalizadas las pruebas se obtuvo una diferencia del **34,29%** en los valores promedio de resistencia a la tracción, un **47,48%** en los límites de fluencia y un **27,43%** en los módulos de rotura a flexión.

Dado lo anterior se concluyó que las probetas de PLA reciclado cuentan con propiedades mecánicas similares o mejores a las semejantes en PLA industrial obtuvieron en los ensayos muestran un peso similar al de las probetas de material industrial; y se imprimieron a partir de tramos de filamento de mayor calidad. Se cumplió el objetivo de producir un filamento con la calidad necesaria para su uso industrial y, mediante el proceso descrito, se obtuvo una cantidad considerable de filamentos de material reciclable.

Por su parte el proyecto titulado “Diseño Y Construcción De Una Máquina Para Obtener Filamento 3D De Bajo Costo Reciclando Botellas PET” elaborado por Vera (2023) inició con la recopilación de requerimientos de usuarios en **Trujillo (Perú)** a través de encuestas, junto con una investigación de diseños similares para disponer las especificaciones de diseño. Se plantearon cuatro conceptos de solución, que se evaluaron a través una **matriz de selección ponderada**. El concepto óptimo que resulto acarreó tres posibles configuraciones de la máquina. Se eligió la mejor configuración y se definieron dimensiones iniciales para la máquina y parte de sus componentes. Se realizó un análisis paramétrico de varios componentes críticos, como la leva cilíndrica, el eje de la bobina y los engranajes, empleando softwares como Matlab, SolidWorks y ANSYS. Se seleccionaron componentes estándar para ultimar el diseño detallado, apoyado por cálculos adecuados para garantizar la seguridad y confiabilidad del equipo. El costo total del equipo fue de S/. 1091.38.(\$ 295 dólares más o menos) El análisis económico, que incluyó métricas financieras como el ROI, VAN y la TIR, indicó la viabilidad económica del proyecto, con una recuperación de la inversión estimada en **3.8 meses**. Durante la impresión 3D de los componentes, se ajustaron ciertos parámetros para garantizar el correcto ensamble de las piezas y el desplazamiento adecuado de ciertos componentes. **Las pruebas confirmaron el correcto funcionamiento de la máquina con tiras de botellas PET de 6-8 mm, con temperaturas entre 220-230°C** y velocidades específicas para la bobina y la leva cilíndrica.

En conclusión, este proyecto abordó un problema sustancial y manifestó una solución viable desde el punto de vista técnico y económico. La metodología de diseño formal tuvo un papel fundamental en todo el proceso, desde la previa

recopilación de requerimientos hasta la selección de la configuración óptima y el dimensionamiento del equipo. La razón completa de la construcción y funcionamiento del dispositivo fue esencial para su fabricación y montaje eficiente. Se desarrollaron los distintos planos de los componentes del equipo lo cual permitió la representación visual detallada y precisa de cada elemento.

3.1.2. Panorama nacional

En el trabajo de grado realizado por Ramos & Lombana (2019) formula un sistema para determinar la viabilidad de transformar botellas y recipientes de plástico reciclados en filamento de impresión 3D en FDM en **Santiago de Cali**. Para esto se testearon los polímeros más reutilizados en dos etapas experimentales:

En esta etapa se llevó a cabo las pruebas de triturado en los distintos polímeros con el propósito de convertir el material plástico en trozos pequeños. Se utilizó una trituradora con cuchillas capaz de despedazar las botellas.

En esta etapa se determinó la eficiencia a la hora de realizar la extrusión de los distintos polímeros, para esto se utilizó el material previamente triturado, y un extrusor guiado por un tornillo sin fin, el cual funde el material triturado y lo empuja a través de una boquilla que lo expulsa en forma de filamento de impresión 3D **con un diámetro de 1,75 mm**.

Los polímeros testeados fueron el PET, PP, HDPE y PS. Donde el HDPE es el polímero con mejor manejo y acabados entre los materiales testeados presentando un diámetro cercano a **1,75 mm (diámetro estándar utilizado por las impresoras convencionales)**. Con un comportamiento parecido está el PP, el cual no tiene un diámetro tan regular como el HDPE, pero si cercano. Esto impide su utilización en la impresión por FDM. Por último, está el PET dado que fue el filamento menos uniforme de todos por el alto nivel de absorción de humedad que este posee este material.

Se concluyó gracias a la investigación que el proceso óptimo para trabajar este polímero es integrando un **período adicional de secado de material a temperatura de 80 °C** que libere el nivel de humedad de este material.

Similar al proyecto anterior se llevó a cabo el desarrollo de un prototipo de fabricadora de filamento de impresión 3D **en la tecno academia Itinerante Nariño**. Liderado por Ramírez et al. (2022) y cuyo objetivo principal de los aprendices de robótica fue fomentar y concientizar a los niños y jóvenes de Tecno academia sobre la importancia del reciclaje, la economía circular y la implementación de la ciencia, tecnologías e innovación presentada como solución a la problemática global relacionada con la contaminación a raíz del plástico desechado.

Ese proceso de diseño, fabricación y puesta en marcha de la máquina productora de filamento a partir de botellas de plástico PET tuvo etapas como:

- Pruebas de calibración del sistema de control de temperatura: Se realizaron pruebas para calibrar el sistema de control de temperatura utilizando un algoritmo PID. Los resultados de estas pruebas permitieron controlar la potencia del extrusor y verificar la temperatura real del sistema (inicial de 100 °C), lo que influyó en la calidad del filamento producido.
- Programas de diseño y simulación: Se utilizaron programas de diseño asistido por computadora (CAD) para diseñar las piezas mecánicas de la máquina y así mismo se empleó programas de simulación para rectificar el funcionamiento de la máquina antes de la fabricación física de las partes.
- Programas de control y monitoreo: Se uso programas de control para el sistema de temperatura, como el algoritmo PID, que permitió regular la temperatura de manera correcta durante el proceso de fabricación del filamento. Se superviso el funcionamiento de la máquina y se recogieron datos del proceso de fabricación del material.

Concluyendo así que lo anterior contribuyó al desarrollo exitoso del prototipo de la máquina fabricadora de filamento PET, determinando la viabilidad y beneficios de convertir el PET en filamento para impresión 3D de un diámetro final de 1.75 mm. En resumen, la implementación de este modelo no solo permitió la producción de filamento para impresión 3D, puesto que también fomento prácticas sostenibles, educación ambiental y conciencia sobre la importancia del cuidado de los entornos naturales, a su vez el proyecto de grado titulado “planta prototipo para la fabricación de pellets y filamentos de impresión 3D a partir de botellas PET posconsumo” realizado por Ángel et al. (2023) estudiantes de Ingeniería Mecánica en la Universidad Industrial de Santander en **Bucaramanga**. Aprovecho los residuos plásticos PET mediante una máquina a escala de laboratorio para investigar y profundizar en la transformación y reutilización del plástico. Se determinó que los sistemas de triturado con cuchillas oxidadas no son convenientes para el reciclaje de plástico, dado que corrompen el material PET con óxido.

Adicionalmente **se demostró que el material PET reciclado es sensible a alteraciones de temperatura en procesos de extrusión y debe ser mezclado con material virgen.**

La extrusión con PET G corroboró ser más apropiada para impresión 3D que la extrusión con PET virgen. En cuanto al diseño de la planta, se estableció **la importancia del enfriamiento y la temperatura adecuada para producir filamentos de calidad**. Se diseñó un sistema de enfriamiento, enrollado y paletizado que operó a una capacidad máxima de 2,42 kg/h. Se hicieron mejoras en las condiciones de operación de las máquinas en el laboratorio, logrando una planta articulada con fichas técnicas y condiciones de seguridad mejoradas. Finalmente, se diseñó modularmente la planta de producción de pellets y filamentos de PET, articulando los subsistemas y elementos de continuidad. Se destacó la importancia de una gestión correcta para el desarrollo de la propuesta, que se basa en la interacción multifuncional de sus componentes bajo condiciones concretas.

3.1.3. Panorama Regional

Extrusor de botellas plásticas tipo PET reciclables para filamentos de impresoras 3D

En esta tesis se diseñó y construyó una máquina para convertir envases de PET reciclados en filamentos para impresoras 3D. El proceso incluyó la clasificación, trituración y lavado del plástico recolectado. dicho esto, se realizó un preprocesado de los materiales, obteniendo PET triturado y filamentos para impresoras 3D. Durante la construcción de la máquina para la producción de filamentos de impresión 3D con botellas de PET reciclables, se enfrentaron dificultades como la gestión de altas temperaturas. A pesar de algunas limitaciones en las pruebas de calidad por falta de recursos, los resultados obtenidos cumplieron con las expectativas del proyecto. El sistema de control de la maquina facilito modificar la estructura del filamento en tiempo real, destacando la importancia de mantener la temperatura adecuada para evitar daños en el material y contribuir a la contaminación. El proyecto demostró ser una alternativa técnica viable para reciclar envases de PET en filamentos para impresoras 3D. (ANDERSON, 2023).

3.2. Fundamentación teórica

3.2.1. Aspecto técnico

Diagrama de cadena de valor

Conforme al libro “Ventaja competitiva” de Michael Porter (2010) el concepto de cadena de valor se refiere a la identificación de los procesos que agregan valor en comparación con los competidores. A través del análisis de las actividades que se llevan a cabo dentro de la empresa, el modelo de Porter permite determinar cómo las fuentes de valor pueden establecer precios más competitivos, así como los criterios para sustituir un producto o servicio por otro. La estructura de la cadena de valor se compone de actividades primarias (logística de entrada, operaciones, logística de salida, marketing, ventas, y

servicios) y actividades de apoyo, que facilitan la ejecución de las actividades primarias (como recursos humanos, administración, desarrollo tecnológico, entre otros).

Diagrama de flujo de procesos (BPMN)

Un diagrama de flujo de procesos BPMN (*Business Process Model and Notation*) según Chinosi & Trombetta (2012) es un estándar ampliamente reconocido para la representación gráfica de procesos de negocio. Su principal ventaja radica en su capacidad de mostrar de forma clara, estructurada y comprensible cómo se llevan a cabo las actividades dentro de prácticamente cualquier tipo de organización, sin importar el sector o tamaño.

Mediante un lenguaje visual estandarizado, el estándar de procesos BPMN facilita la comunicación entre áreas técnicas y operativas, permitiendo el análisis y la optimización de procesos. Sirviendo, así como base para la automatización y mejora continua.

Los símbolos en un diagrama de flujo de procesos **BPMN** son:

1. Eventos (*Events*)

Indican que algo sucede dentro del proceso. Se representan con círculos:

- Evento de inicio (*Start Event*): círculo simple.
- Evento intermedio (*Intermediate Event*): doble círculo.
- Evento de fin (*End Event*): círculo con borde grueso

2. Actividades (*Activities*)

Representan tareas o trabajos realizados. Se dibujan como rectángulos con bordes redondeados. Pueden ser:

- Tarea (*Task*): unidad simple de trabajo en las siguientes categorías.
 - Manual
 - Recepción
 - Script
 - Envío
 - Servicio
 - Usuario
- Subproceso (*Sub-process*): contiene otras actividades o procesos.

3. Pasarelas (*Gateways*)

Controlan el flujo del proceso, decidiendo rutas alternativas. Se representan con un rombo:

- Exclusiva (*XOR*): solo una ruta se sigue.
- Paralela (*AND*): se ejecutan varias rutas simultáneamente.
- Inclusiva (*OR*): se pueden seguir una o más rutas.

4. Conectores (*Flows*)

Unen los elementos entre sí. Pueden ser:

- Flujo de secuencia (*Sequence Flow*): flecha continua que muestra el orden.
- Flujo de mensaje (*Message Flow*): línea punteada con flecha, representa comunicación entre participantes.
- Asociación (*Association*): línea discontinua que vincula información o artefactos con elementos.

5. Piscinas y Carriles (*Pools and Lanes*)

- Piscina (*Pool*): representa un participante o entidad en el proceso.
- Carril (*Lane*): subdivisión dentro de una piscina para organizar actividades por roles o departamentos.

6. Artefactos

Para añadir información adicional

- Datos (*Data Objects*): muestran datos usados o generados.
- Grupos (*Group*): agrupan actividades visualmente.
- Anotaciones (*Text Annotation*): notas explicativas.

Para George et al. (2019) el utilizar un Diagrama de procesos de negocio (BPMN), contribuyen directamente a una gestión más ágil y eficiente, alineada con los objetivos de la organización.

algunas ventajas de este método son:

- Visión clara y detallada del proceso
- Integración empresarial de factores como logística, proveedores y clientes
- Determinar que actividades son automatizables.
- Es un estándar internacional
- Independencia metodológica
- Conexión entre negocio y tecnología
- Comprensión accesible

Estadística descriptiva

La estadística brinda facilidad para la recolecta, análisis, interpretación y presentación de la información que se obtiene durante el desarrollo de una investigación. En la guía didáctica “Metodología De La Investigación Cuantitativa Y Cualitativa” de Monje (2011) la estadística descriptiva emplea los datos recolectados y tabulados sistemáticamente según su complejidad, y se representan de varias maneras:

- Textual
- Gráficas

Fuentes de información primaria

El empleo de fuentes de información primarias en un proyecto de investigación es crucial. Conforme al artículo de Miranda & Acosta (2008) donde se precisa que las fuentes de información primaria son datos que provienen directamente de la muestra, sin intermediarios, lo que garantiza que la información sea original y que no ha sido filtrada o evaluada por alguien más, haciéndola más precisa y auténtica.

Estas fuentes permiten obtener evidencia original, actual y específica sobre el tema de estudio, lo que fortalece la validez de los resultados y aporta un enfoque más robusto y fundamentado al análisis. Además, recurrir a fuentes primarias fomenta una comprensión profunda del fenómeno investigado, permitiendo descubrir nuevas perspectivas y contribuciones relevantes para el campo de estudio.

Indicadores de rentabilidad

Los indicadores financieros son herramientas esenciales en la evaluación y formulación de proyectos, pues permiten analizar su viabilidad económica, identificar fortalezas, debilidades y tomar decisiones informadas sobre su rentabilidad y sostenibilidad en un lapso tiempo. (Macias & Delgado, 2023) Según Morín (2017) para el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos, el VPN es la suma de los beneficios netos futuros del proyecto actualizado a un año común, este indicador ayuda a determinar la cifra monetaria que adquirirá o perderá si se invierte en un proyecto específico, este a su vez interactúa con el flujo de efectivo y la TIR o Tasa Interna de Retorno la cual se define como la tasa de descuento que ocasiona que el VPN sea cero, si esta es menor que la tasa de descuento el proyecto no será rentable.

Mapa de procesos

Conforme con la ISO 9001 (2015), se promueve la adopción de un enfoque a procesos, al implementar los sistemas de gestión de la calidad, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento satisfactorio de los requisitos.

Un proceso se define como un conjunto de actividades interrelacionadas que buscan transformar entradas en salidas, es decir, convertir recursos o insumos en productos o servicios. Dichas actividades pueden involucrar tanto a partes internas de la organización como a actores externos, como clientes o proveedores. Es esencial tener siempre presente a los clientes, ya que ellos son el destinatario final del resultado del proceso.

De manera general, pueden agruparse los procesos de una organización en 3 categorías:

La eficacia de un proceso depende de cómo se coordinen sus etapas y del uso eficiente de los recursos, con el fin de alcanzar los resultados esperados, considerando factores como calidad, tiempo y costos. Asimismo, la retroalimentación juega un papel clave, ya que permite realizar ajustes y mejoras continuas para cumplir con las expectativas del cliente.

- **Estratégicos:** Constituyen guías y directrices para los procesos operativos, dentro de esta categoría se encuentran los procesos gerenciales y administrativos
- **Operativos:** Crean valor y tienen impacto en cliente final
- **De apoyo:** Dan soporte a los procesos clave, su valor no se refleja directamente en los clientes sino a nivel interno.

Entre las ventajas de la implementación de un mapa de procesos a nivel organizacional, se encuentran:

- Provee una visión global de la organización
- Muestra relaciones y roles

- Ayuda a explicar los procesos
- Permite identificar los procedimientos e instrucciones de trabajo que se requiere documentar.

Método Guerchet

En la investigación de Bastidas & Aguirre (2020) se destaca que el método de Guerchet es una herramienta muy útil para determinar las áreas necesarias para el puesto de trabajo en un entorno de producción. Este método contempla el número, tamaño de las máquinas y equipos necesarios para la producción, así como las exigencias de personal y apreciaciones respecto al inventario. Este método permite calcular la superficie total (S_t) necesaria para un puesto de trabajo teniendo presente tres componentes:

- Superficie estática (S_s): Es el área que ocupan las máquinas y equipos.
- Superficie de gravitación (S_g): Es el área utilizada por el operario y el equipo en las operaciones de cada puesto de trabajo.
- Superficie de evolución (S_e): Es el espacio adicional requerido para los desplazamientos del personal, equipo, medios de transporte y salida del producto.

La superficie total se define como la sumatoria de la superficie estática, de gravitación y de evolución, multiplicado por el número de máquinas de un tipo. La ejecución de este método será de gran ayuda para el proyecto dado que permitirá planificar de manera óptima el espacio necesario. Además, esto implica una operación más eficiente con mejor utilización del espacio, junto con una posible reducción en los costos operativos.

Estudio de mercado por 4 C

Un estudio de mercado basado en las 4 Cs del marketing (Cliente, Costo, Conveniencia y Comunicación) se enfoca en entender a profundidad las necesidades, expectativas y comportamientos del consumidor. Este enfoque reemplaza las 4 P's priorizando el cliente, esto según Hichos (2009)

Las 4 C representan:

- Consumidor: Se priorizan los deseos y necesidades del cliente.
- Costo: Teniendo en cuenta el costo total para el cliente, incluyendo tiempo, esfuerzo y otros factores, más allá del precio de compra.
- Conveniencia: Busca facilitar el acceso del cliente al producto o servicio, considerando sus preferencias de compra y canales disponibles.
- Comunicación: Se fomenta una interacción bidireccional entre la empresa y el cliente, en vez de una promoción unidireccional.

El modelo de las 4 Cs representa un cambio de paradigma en el marketing, al dejar de centrarse en el producto para orientarse hacia el cliente como eje principal de cualquier estrategia.

Para Kitchen & Burgmann (2015) al priorizar las necesidades, percepciones y comportamientos del consumidor, este enfoque permite establecer relaciones más cercanas, auténticas y duraderas entre las marcas y su audiencia. Dicho esto, aplicar las 4 Cs no solo mejora la eficacia comercial, sino que también fortalece la relevancia y adaptabilidad de las empresas en un mercado cada vez más competitivo y orientado al usuario.

Planeación estratégica

Un plan estratégico es clave en la evaluación de la factibilidad de un proyecto en todos sus aspectos. Dado que facilita una guía completa y sólida al momento de tomar decisiones informadas y estratégicas, maximizando las posibilidades de éxito.

Valenzuela Argoti (2016) sugiere que es fundamental efectuar una planificación estratégica en las empresas para que crezcan y aumenten su competitividad, estar a la par de los nuevos sucesos; de igual manera mejorar e innovar de forma recurrente y puntual al tiempo de sus cooperantes para mantenerse y prosperar en estas épocas de globalización y desarrollos tecnológicos, que requiere gran nivel de preparación, pericia y antelación a las necesidades sociales y de la misma organización. Partes imprescindibles en el plan estratégico del proyecto:

- **Cultura Organizacional (Liderazgo, Visión y Valores):** Estos elementos establecerán los cimientos para estructurar las estrategias y metas a futuro del proyecto.
- **Análisis interno y externo:** Estos estudios brindaran la oportunidad de percibir el entorno en el que estará presente el proyecto, examinando sus fortalezas y debilidades, tales como las oportunidades y amenazas a las cuales se puede ver expuesto mediante una matriz DOFA.
- **Diseño de objetivos y estrategias:** Los objetivos fijan lo que el proyecto querrá alcanzar a largo plazo, al tiempo que las estrategias marcaran el camino de cómo se proyecta alcanzar estos propósitos.

Planeación sistemática de la distribución en planta

El diseño de planta según lo concibe, Muther (1968) es un proceso metódico para disponer las plantas industriales de forma eficaz y conveniente. Este se conoce como *Systematic Layout Planning*, (SLP).

En este manual se identifican varias tipologías de distribución o layouts que se pueden emplear en el diseño de plantas industriales. Las cuales son:

- **Distribución por Producto (Product Layout):**
 - **Descripción:** También conocida como distribución en línea o lineal, se establece en función de la sucesión de operaciones

necesarias para fabricar un producto. Las máquinas y estaciones de trabajo se disponen con respecto al flujo del producto.

- **Aplicación:** Ideal para procesos de producción en masa o grandes volúmenes con un flujo continuo, como en la industria automotriz o en líneas de ensamblaje.
- **Distribución por Proceso (Process Layout):**
 - **Descripción:** Las instalaciones y equipos se agrupan por tipo de proceso o función equivalente, no por la secuencia del producto.
 - **Aplicación:** Se maneja en operaciones que aplican una variedad de productos o servicios que requieren otros procesos, como talleres de trabajo donde se realizan labores especializadas.
- **Distribución Fija o Posicional (Fixed-Position Layout):**
 - **Descripción:** En este tipo de distribución, el producto permanece en una ubicación fija, y los trabajadores, herramientas y materiales se mueven hacia él.
 - **Aplicación:** Es habitual en la construcción de grandes productos como barcos, aviones o edificios, donde es más práctico que el producto permanezca en una posición fija.

Revisión sistemática de literatura

En el libro *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*, Kitchenham (2007) se refiere a la revisión sistemática como la ruta para valorar e interpretar toda la investigación disponible, que sea significativa respecto de un enigma de investigación específico, en un campo determinado o fenómeno de interés. Por otro lado, una revisión sistemática, bajo el protocolo PRISMA, es una herramienta esencial que permite evaluar críticamente la literatura científica existente, siguiendo criterios definidos para asegurar validez y confiabilidad. Sánchez Serrano et al. (2022)

De esta manera, la revisión sistemática con PRISMA contribuye significativamente a establecer el marco teórico y metodológico de un proyecto de investigación, garantizando una base sólida para la toma de decisiones y la generación de conocimiento científico en cualquier campo académico.

3.2.2. Aspecto ambiental

Matriz Leopold

Tito (2020) presenta la matriz de Leopold como una herramienta utilizada en la estimación de impactos ambientales cuyo propósito es identificar y valorar la relación causa-efecto entre las actividades de un proyecto y sus potenciales consecuencias o efectos en el campo ambiental. En el contexto de este proyecto, que envuelve la reutilización del PET en la fabricación de filamentos para la impresión 3D (Boris, 2020), la Matriz de Leopold será una herramienta fundamental. Puesto que permitirá identificar y evaluar metódicamente los beneficios medioambientales en el municipio. Además, puede contribuir a determinar los sectores beneficiados por este proyecto. Al tabular las actividades relacionadas al medio ambiente en una matriz y cruzarlas con los posibles sectores afectados, se puede conseguir una visión clara de quiénes se beneficiarán del proyecto y cómo. Con relación a los factores del estudio de impacto ambiental que aprovecha la Matriz de Leopold, esta evalúa principalmente el biótico, abiótico y antrópico. El componente biótico alude a los seres vivos que pueden verse afectados por el proyecto, el componente abiótico describe a los factores no vivos como el agua, el aire, el suelo, entre otros, y la parte antrópica se refiere a los aspectos humanos, como las comunidades locales y la economía.

3.2.3. Aspecto de materiales

Proceso de fabricación del filamento de impresión 3D

El proceso de EOLAS PRINTS (n.d.) para la fabricación filamento de impresión 3D consta de las siguientes etapas:

- **Abastecimiento:** El proceso comienza con la obtención de la materia prima en forma de pellets (trozos de polímero) de primera calidad
- **Secado:** Se procede a secar los pellets, dado que estos son elementos hidrófilos, lo que significa que absorben humedad, la cual se elimina durante este proceso
- **Extrusión:** Los pellets secos se alimentan a la extrusora que cuenta con una cámara de calentamiento donde los pellets se derriten para darles forma similar a una cuerda, llamada filamento.
- **Enfriamiento:** Después de salir de la cámara de calentamiento, el filamento pasa a través de diferentes cámaras de agua, la primera contiene agua caliente que ayuda a dar la forma redondeada, la segunda cuenta con agua tibia que ayuda a solidificar y enfriar el filamento.
- **Puesta en cola:** Aquí se tiran los filamentos desde la cámara de enfriamiento hasta un mecanismo de bobinado, el proceso comienza midiendo el diámetro del filamento con un dispositivo laser asegurando que este dentro de la tolerancia de 1,75 mm o 2,85 mm; Para poder embobinar el filamento en los carretes.
- **Embalaje:** Las bobinas se envasan al vacío y se empaquetan en una caja, el producto terminado está listo para ser enviado a cualquier parte del mundo.

3.3. Marco conceptual

- **Ácido Poliláctico (PLA):** El PLA es un biopolímero fabricado mediante a la polimerización del ácido láctico que deriva de productos renovables como el almidón de maíz o la caña de azúcar, lo que lo convierte en uno de los termoplásticos más utilizados como opción para mitigar el impacto ambiental generado por el uso de los plásticos.
- **Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS):** Es un polímero fabricado mediante la polimerización en masa de acrilonitrilo y estireno en presencia de polibutadieno, este material se caracteriza por la resistencia a impactos y su dureza lo que lo convierte en uno de los materiales predilectos por la industria para la fabricación de infinidad de productos como cascos de protección y carcasas de dispositivos electrónicos.
- **Contaminación:** La contaminación hace referencia a la presencia de cualquier tipo de agente o una mezcla de estos en alguna forma, lugar o concentración que resulte nocivo para la seguridad, salud o bienestar de las personas, y perjudicial para seres vivos.
- **Desecho:** Consiste en cualquier tipo de material que es descartado debido a que se considera inútil o innecesario.
- **Economía Circular:** Es una alternativa a la economía lineal que propone mantener los materiales, componentes y productos en su máximo nivel de uso. Desde su creación, es un ciclo de desarrolla que pretender aumentar y preservar el capital humano, optimizar la utilización de recursos y minimizar los riesgos regulando inventarios finitos y flujos renovables.
Este ciclo se basa en las 9R de la economía circular que consisten en:

- Rechazar aquello que no se necesita.
 - Reducir el consumo.
 - Reparar productos.
 - Restaurar para modernizar.
 - Remanufacturar aquello que se necesite.
 - Rediseñar con sostenibilidad y ecología.
 - Reciclar materia prima para nuevos productos.
 - Recuperar materiales para manufactura y producción de energía.
- Extrusión: Es el proceso que consiste en fundir y moldear el plástico con un flujo de alta constancia de fuerza y presión para obtener una forma requerida según su función final.
 - Fabricación Aditiva (Impresión 3d): Se puede describir la fabricación aditiva (FA) como la agrupación de tecnologías de fabricación que proporcionan la producción de geometrías complejas mediante un proceso de adición de capas de un material. Este método de fabricación se organiza en un proceso de utilización con las siguientes fases:
 - CAD: Desarrollo de modelo 3D con un software de CAD.
 - STL: Conversión de modelo CAD en un fichero que pueda leer la máquina.
 - Slicer: Preparación del fichero para seccionarlo en capas que prepare el STL para la fabricación.
 - Fabricación: Introducción del fichero preparado a la máquina y puesta en marcha.
 - Postproceso: Someter la pieza fabricada a procesos de acabado dependiendo de su función final.
 - Filamento: Objeto filiforme (Cuerpo con forma de hilo), flexible o rígido utilizado como insumo en los procesos de fabricación aditiva, este puede ser fabricado con distintos polímeros como el PET, PLA o ABS

- Impacto Ambiental: Se denomina impacto ambiental a cualquier alteración positiva o negativa en el ambiente, provocados principalmente por el ser humano. Este puede ser:
 - Directo: El deterioro es obra del ser humano
 - Indirecto: El deterioro no es provocado por el ser humano, pero si por los productos o desechos que este genera
 - Reversible: se pueden realizar acciones para contrarrestar el daño
 - Irreversible: No se puede componer lo afectado
 - Continuo: El daño se realiza constantemente sin parar
 - Periódico: solo ocurre en determinados lapsos de tiempo
 - Acumulativo: El daño es fruto de acciones pasadas cuyos efectos son cada vez más significativos
 - Residual: Los daños persisten en el tiempo aun así se hayan tomado medidas para mitigarlo

- Pellet: Los pellets son pequeños cilindros de biomasa comprimida, generalmente de unos pocos milímetros de diámetro y varios centímetros de longitud. Se utilizan principalmente como combustible en calderas y estufas debido a su alto poder calorífico y su capacidad para quemarse de manera eficiente y limpia.

- Polímero: Un polímero es una macromolécula formada por la repetición de unidades más pequeñas llamadas monómeros, que están unidas mediante enlaces covalentes. La estructura de los polímeros puede ser lineal, ramificada o reticulada, y su composición puede variar ampliamente, lo que les confiere una gran variedad de propiedades como:
 - Mecánicas: Resistencia a la tracción, elasticidad, dureza.
 - Térmicas: Resistencia al calor, punto de fusión, temperatura de transición vítrea.

- Químicas: Resistencia a productos químicos, corrosión.
- Eléctricas: Conductividad o aislamiento eléctrico.

Además, tienen diferentes aplicaciones, entre las que están la industria plástica, la medicina, los textiles, la construcción y la electrónica.

- **Propiedades Mecánicas:** Las propiedades mecánicas de un material describen su comportamiento bajo la acción de fuerzas externas o cargas. Estas propiedades determinan cómo responde el material cuando se le aplica una fuerza, ya sea de compresión, tracción, flexión, torsión, cizallamiento u otras. Son cruciales para la selección y el diseño de materiales en ingeniería y construcción, ya que influyen en la durabilidad, la seguridad y la funcionalidad de los productos y estructuras. Algunas de sus propiedades principales son las siguientes:

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| ○ Resistencia a la Tracción | ○ Plasticidad |
| ○ Resistencia a la Compresión | ○ Tenacidad |
| ○ Dureza | ○ Fragilidad |
| ○ Elasticidad | ○ Fatiga |

- **Reciclar:** Es el proceso mediante el cual materiales usados, desechados o considerados residuos son recolectados, clasificados, procesados y transformados en nuevos productos o materias primas. Este proceso permite reducir el consumo de materias primas vírgenes, disminuir la cantidad de residuos que se envían a los vertederos o se incineran, y ahorrar energía, contribuyendo así a la protección del medio ambiente. El proceso de reciclar está seccionado por las siguientes etapas:

Recolección → Clasificación → Limpieza y preparación → Procesamiento → Fabricación → Compra de productos reciclados.

- Tereftalato De Polietileno (PET): Es un polímero termoplástico perteneciente a la familia de los poliésteres. Se obtiene mediante la polimerización del ácido tereftalato con el etilenglicol. Es uno de los plásticos más utilizados en la fabricación de envases y textiles debido a sus excelentes propiedades físicas y químicas que son:
 - Propiedades Físicas:
 - Transparencia
 - Resistencia Mecánica
 - Ligereza
 - Propiedades Térmicas:
 - Temperatura de Fusión
 - Resistencia al Calor
 - Propiedades Químicas:
 - Resistencia Química
 - Barreras
 - Propiedades Eléctricas:
 - Aislante Eléctrico

4. Objetivos

4.1. General:

Determinar la viabilidad para el establecimiento de una fábrica de filamento para impresión 3D en la que se utilice el tereftalato de polietileno reciclado en el municipio de Soacha.

4.2. Específicos:

- Validar la viabilidad del uso PET reciclado para la fabricación de filamento en impresión caracterizando sus propiedades mecánicas mediante una revisión sistemática de la literatura.
- Diseñar la cadena de valor contemplando equipos, infraestructura y talento humano necesario para la transformación del tereftalato de polietileno en filamento de impresión 3D.
- Identificar el mercado y los Stakeholders en la implementación de este insumo en su actividad económica.
- Formular la ruta para la puesta en marcha del proyecto, contemplando riesgos y el impacto ambiental con el uso de este filamento.

5. Alcance

Este proyecto de investigación se centra en determinar la viabilidad del establecimiento de una fábrica de filamento de impresión 3D a base de material PET reciclado en Soacha. Como alternativa para reutilizar este material en beneficio del medio ambiente, abordando la problemática relacionada con la contaminación a raíz de los desechos plásticos.

Para este objetivo se proyecta caracterizar las propiedades mecánicas del PET necesarias para su uso en este proceso, mediante pruebas de tracción, compresión, flexión y comportamiento frente a cambios de temperatura.

Mediante esta clasificación se procura establecer la calidad proyectada del filamento en comparación con otros filamentos industriales como los fabricados con PLA y ABS, determinando la compatibilidad y requisitos con impresoras convencionales. Además, se pretende desarrollar un plan estratégico para el inicio de actividades operativas de una planta de producción en el municipio que reutilice este polímero como materia prima., contemplando los costos asociados y la rentabilidad de este ejercicio.

6. Limitaciones

Para el desarrollo de la investigación resulta crucial anticipar y abordar las posibles limitaciones que se pueden presentar durante la ejecución del proyecto. Estos obstáculos podrían dificultar significativamente el progreso y viabilidad del estudio.

A continuación, las limitaciones identificadas:

- **Dificultad De Acceso Al Material Reciclado:** En Soacha, la recolección y clasificación de los desechos plásticos puede presentar impedimentos en la producción del filamento en vista de la variabilidad, disponibilidad y calidad de la materia prima. posibilitando esfuerzos adicionales para potenciar alianzas con las autoridades locales y / o las organizaciones de reciclaje y así garantizar un suministro óptimo del material.
- **Equipos Para La Fabricación Y Testeo:** La consecución de equipos especializados para la fabricación y pruebas del material acarrea de igual manera ciertos conocimientos técnicos. abriendo la posibilidad de solicitar asistencia de instituciones con disposición de estos equipos.
- **Normativas:** Las normas y regulaciones locales o nacionales pueden restringir ciertos aspectos del proyecto, como la recolección de los desechos sólidos reutilizables o la fabricación de nuevos productos. Es trascendental entender y cumplir con todas las normativas adecuadas teniendo en cuenta posibles sanciones conforme a su incumplimiento.
- **Acceso Y Magnitud De La Información Referente Al Impacto Ambiental:** La ausencia de estudios detallados sobre el impacto ambiental de los materiales reciclados en Soacha puede entorpecer la evaluación precisa de los beneficios ambientales del proyecto. Es posible que se necesite

efectuar investigaciones adicionales o apoyarse con expertos en el campo.

- **Poco Interés Por Parte De La Industria Para Adquirir Insumos Reciclad**
Reciclad: Parte de la factibilidad de esta investigación obedece a si las industrias estarán interesadas en adquirir el filamento fabricado a partir de PET reciclado, puesto que, si no, esto representaría una posible traba para el potencial atractivo del financiamiento a futuro de este proyecto.
- **Costos Asociados:** Los costos asociados referentes a la recolección y clasificación de materiales reciclables, adquisición de equipos, pruebas de experimentación del material, cumplimiento de las normativas y la realización de investigaciones traen consigo un impacto económico relevante. Haciendo que se precise buscar fuentes de financiamiento adicionales, como subvenciones, patrocinios o colaboraciones.

7. Metodología

La presente investigación adopta un enfoque mixto que integra elementos tanto cuantitativos y cualitativos, de corte transversal y carácter inferencial. En consonancia con el problema de estudio, este enfoque metodológico permite explorar y comprender las implicaciones que conlleva el establecimiento de una planta de producción utilizando como materia prima el tereftalato de polietileno reciclado; con el objetivo de abordar la creciente demanda de alternativas de fabricación sostenible que reutilicen desechos plásticos. Se propone la siguiente estructura para el desarrollo de la investigación:

7.1. Fase I: Revisión y diagnóstico del potencial de impresión 3D con material reciclado.

7.1.1. Viabilidad y limitaciones del PET reciclado en manufactura aditiva por método PRISMA

El propósito de realizar una revisión documental siguiendo el método PRISMA es proporcionar una visión clara, estructurada y actualizada del estado del conocimiento sobre la fabricación aditiva y el uso de polímeros reciclados en particular, tereftalato de polietileno (PET) en la producción de filamentos para impresión 3D. Esta revisión permitirá analizar rigurosamente la literatura científica existente, evaluando tanto la calidad metodológica de los estudios como sus principales hallazgos técnicos, económicos y ambientales. Además de valorar la viabilidad técnica del uso de materiales reciclados en la impresión 3D, la revisión buscará identificar las ventajas comparativas que estos materiales ofrecen en términos de sostenibilidad ambiental y rentabilidad económica. Esto permitirá determinar, con base en evidencia sólida, la pertinencia de continuar con investigaciones futuras, así como potenciales aplicaciones prácticas en contextos industriales y de economía circular. El proceso se desarrollará en varias etapas:

1. Definición de criterios de inclusión y exclusión:

Se establecerán criterios específicos para incluir estudios centrados en la reutilización de polímeros reciclados, especialmente PET, en el contexto de la fabricación aditiva. Se priorizarán investigaciones que analicen aspectos técnicos, económicos o ambientales. Por el contrario, se excluirán aquellos trabajos cuyo enfoque no sea relevante para el objetivo principal de esta revisión, como estudios exclusivamente teóricos sin aplicación directa en el ámbito del reciclaje o la impresión 3D.

2. Búsqueda en fuentes de datos:

Se realizará una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas como Scopus, Google Scholar y otras fuentes especializadas. Para ello, se empleará una ecuación de búsqueda que incluirá términos clave como *“filamento reciclado”*, *“impresión 3D”*, *“PET reciclado”*, *“polímeros reciclados”*, *“economía circular”* y *“análisis de ciclo de vida”*. La selección se limitará a publicaciones realizadas a partir de 2018, con el fin de garantizar la actualidad y relevancia de los datos obtenidos.

3. Filtrado y selección de estudios:

A partir de los resultados de la búsqueda, se procederá a una selección inicial basada en los títulos y resúmenes, descartando aquellos trabajos que no cumplan con los criterios definidos. Luego se llevará a cabo una revisión completa del contenido de los documentos preseleccionados, asegurando su pertinencia en relación con los objetivos de la investigación, incluyendo el análisis de datos relacionados con el impacto ambiental, la eficiencia económica y el desempeño técnico de los materiales reciclados.

4. Extracción, análisis y síntesis de datos:

Finalmente, se extraerán y sistematizarán los datos más relevantes de los estudios seleccionados, facilitando un análisis comparativo que

permita identificar tendencias, oportunidades y vacíos en la literatura. Esta síntesis aportará una visión integral del tema, permitiendo evaluar el potencial real de los filamentos reciclados desde una perspectiva multidimensional que considere no solo su funcionalidad técnica, sino también su impacto en la sostenibilidad y su viabilidad económica.

7.1.2. Diagnóstico de patrones de reciclaje

Se diseñará una **Herramienta de recolección de información** que facilite el conocimiento referente a hábitos de reciclaje en la población del municipio, dicha encuesta será aplicada a una muestra representativa calculada por métodos estadísticos según los siguientes parámetros:

- Crear un cuestionario con preguntas afines al objetivo de la investigación, donde se eviten respuestas ambiguas o extensas que no contribuyan a una obtención de información clara y concisa.
- Se calculará el tamaño de la muestra utilizando la fórmula de muestreo finito:

$$n = \frac{n * z^2 * p (1 - p)}{(n - 1) * E^2 + z^2 * p (1 - p)}$$

n = Tamaño de la muestra

Z = Valor z asociado al nivel de confianza

p = Proporción estimada de la población

E = Margen de error deseado

- Se utilizará un método de muestreo aleatorio simple para elegir los participantes de la población objetivo.

- La encuesta será distribuida a los partícipes seleccionados a través de medios digitales.
- Se realizarán análisis estadísticos descriptivos y si es ineludible, inferenciales para interpretar los resultados y extraer conclusiones.

7.2. Fase II: Diseño de planta y procesos de producción

7.2.1. Requerimiento de equipos

Al comprender el proceso de fabricación implementado por Eolas Print, es posible extrapolar el equipo necesario para producir filamento para impresión 3D. Una vez identificadas las máquinas necesarias, se considerarán diferentes alternativas disponibles en el mercado, teniendo en cuenta aspectos como la capacidad y el costo.

En base a esta comparación y a la información disponible de los proveedores, se hará un análisis preliminar para ayudar a determinar qué tipo de máquina puede ser la más adecuada a los objetivos del proyecto.

7.2.2. Diseño del diagrama de flujo de procesos

Se establece como una actividad indispensable el desarrollo de un diagrama de flujo de proceso donde se detalle cada proceso y los requerimientos de este durante la fabricación del filamento de impresión a base de PET reciclado.

Para representar este flujo de procesos dentro de la planta, tanto en la etapa de preparación de la materia prima como en el proceso de extrusión, se elaborará un diagrama utilizando la notación BPMN (*Business Process Model and Notation*).

Esta herramienta permitirá estructurar visualmente las actividades, decisiones y secuencia lógica de cada fase del proceso productivo, facilitando la comprensión del funcionamiento general del mismo.

7.2.3. Requerimiento de talento humano por equipo

Una vez escogidos los equipos mediante un análisis de costo beneficio, se procederá a determinar la cantidad de empleados a contratar basándose en el índice de productividad proyectado donde es necesario conocer:

- Producción necesaria (demanda)
- Tiempo disponible o jornada laboral (en minutos)
- Tiempo de fabricación por pieza (en minutos * pieza)
- Eficacia del personal

Donde el índice de productividad se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\textit{Producción necesaria}}{\textit{Tiempo disponible}} = \textit{Índice de productividad}$$

Conociendo el índice de productividad se procede a calcular el número de trabajadores necesarios para satisfacer la demanda.

$$\frac{\textit{Tiempo de producción * Índice de productividad}}{\textit{Eficacia}} = \textit{Número de empleados necesarios}$$

7.2.4. Estimación de espacio requerido por método Guerchet

Se definirá el espacio mínimo requerido para la planta de producción de acuerdo con la maquinaria necesaria, utilizando el método Guerchet. Este método permitirá estimar de manera sistemática las áreas funcionales considerando factores como el tipo de proceso y las relaciones entre las distintas secciones de la planta, con el fin de obtener una distribución del espacio óptima y garantizar un funcionamiento eficiente.

7.2.5. Ubicación proyectada por método de centro de gravedad

Para estimar la ubicación óptima de la planta de producción, se aplicará el método del centro de gravedad, el cual se llevará a cabo ubicando los centros de acopio de PET reciclado en un plano cartesiano, a partir de una imagen del mapa de Soacha. A cada centro se le asignarán coordenadas según su posición relativa en el plano, así como un valor de peso basado en la calidad de la materia prima que ofrece. Con esta información se calculará una ubicación teórica que permita proyectar un punto estratégico para la instalación de la planta.

Estimar la ubicación óptima donde construir la planta de producción empleando el método de centro de gravedad basado en la ubicación de los centros de reciclaje.

X_c: Coordenada x del centro de gravedad (ubicación teórica ideal en el eje horizontal).

Y_c: Coordenada y del centro de gravedad (ubicación teórica ideal en el eje vertical).

X_i: Coordenada x de cada centro de acopio.

Y_i: Coordenada y de cada centro de acopio.

W_i: Peso asignado a cada centro de acopio, en este caso basado en la **calidad de la materia prima** o su **importancia relativa**.

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i * w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

7.2.6. Diseño de planta

El diseño de la planta debe considerar tanto las características físicas del PET reciclado como los requerimientos técnicos y espaciales de la maquinaria utilizada en cada etapa del proceso productivo. Por ello, se han definido zonas específicas para la recepción y almacenamiento del material, el acondicionamiento (triturado, limpieza y secado), la extrusión y, finalmente, el área de embalaje del filamento.

Como línea metodológica, se tomarán como base los principios del Systematic Layout Planning (SLP) propuesto por Richard Muther, los cuales permiten estructurar de forma lógica y técnica la distribución en planta. No obstante, estos principios no se aplicarán de manera estricta, sino que se adaptarán a las condiciones específicas del proyecto, permitiendo mayor flexibilidad en cuanto al desarrollo de la distribución de planta.

Bajo esta perspectiva, se optará por una distribución por producto, dado que el proceso de fabricación sigue una secuencia lineal y continua.

7.3. Fase III: El mercado y partes interesadas

7.3.1. Estudio de mercado

Para el desarrollo del estudio de mercado, se empleará el modelo de las 4C del marketing como herramienta de análisis. Este enfoque permite comprender de forma más integral las necesidades y expectativas del mercado objetivo. Las 4C se componen de: **Cliente**, que se refiere a la identificación de las necesidades, preferencias y comportamientos del consumidor; **Costo**, que abarca no solo el precio del producto, sino también el esfuerzo y recursos que el cliente invierte para adquirirlo; **Conveniencia**, relacionada con la facilidad de acceso y disponibilidad del producto; y **Comunicación**, enfocándose en establecer un contacto bidireccional con el cliente. Este enfoque se complementará con la encuesta aplicada a la población del municipio, que forma parte de la Fase I del proyecto. Esta herramienta de recopilación de

datos incorporara preguntas diseñadas específicamente para responder a cada componente del modelo 4C. De esta manera, se espera proyectar con mayor precisión el mercado potencial del proyecto y, con base en los resultados, diseñar estrategias que fortalezcan la relación con el cliente y construyan una propuesta sólida y atractiva para las partes interesadas.

7.3.2. Plan estratégico

Se desarrollará un plan estratégico con el fin de formular un panorama estructurado del proyecto desde una perspectiva teórica. Este plan incluirá la definición de la misión, visión y objetivos estratégicos, así como un análisis DOFA para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto en su contexto. Adicionalmente, se establecerá la propuesta de una ventaja competitiva y posteriormente diseñará un mapa de procesos que permita visualizar las actividades clave de la planta. Esto permitirá orientar conceptualmente la viabilidad del proyecto y su posible implementación en un escenario real.

Mapa de procesos

En consonancia a los beneficios del mapeo de procesos se determina la imperatividad del diseño de un mapa de procesos para la fábrica de filamento de PET reciclado, donde se delimiten y expongan la segmentación de los procesos en las distintas categorías anteriormente expuestas.

Diagrama de cadena de valor

Con el objetivo de identificar la cadena de valor implícita en el proceso de fabricación de filamentos de impresión 3D a partir de PET reciclado, se propone el diseño de una matriz de cadena de valor basada en el modelo propuesto por Michael Porter. Esta herramienta permitirá la descomposición y análisis del proceso productivo en actividades principales (como logística

interna, operaciones, logística externa, marketing y servicio) y actividades de soporte (como infraestructura, gestión del talento humano, desarrollo tecnológico y compras). Con esta caracterización, se buscará identificar cuáles de estas actividades aportan valor diferencial en el contexto del proyecto, entendiendo su potencial contribución a la eficiencia, sostenibilidad y propuesta de valor del producto.

7.3.3. Análisis de viabilidad económica

Estimar la utilidad neta teniendo en cuenta los volúmenes de producción proyectados, los costos de fabricación, los gastos (administración operación y ventas), y la deducción de impuesto de renta, con el propósito de calcular indicadores como el ROE (rentabilidad sobre el patrimonio) el ROI (rentabilidad sobre la deuda), el ROA (rentabilidad sobre los activos), el EVA (valor económico añadido), el EBITDA y el margen EBITDA.

Considerando la TIR, el VPN y el flujo de caja se procede a calcular cuánto tiempo tardara el proyecto en recaudar lo invertido y en consecuencia si es o no rentable.

7.4. Fase IV: Ruta para la puesta en marcha

7.4.1. Evaluación de impacto ambiental

Para esta fase se llevará a cabo una evaluación de impacto ambiental sirviéndose de la matriz Leopold. Lo cual permitirá identificar y examinar los posibles efectos como consecuencia de la ejecución del proyecto. Primero, se identificarán los impactos ambientales coligados al proceso de producción, de esta manera se listarán y categorizarán estos impactos en componentes como aire, agua, suelo, flora y fauna. Posteriormente, se evaluará la magnitud y el grado de importancia de cada impacto, asignando valores dentro de la matriz de Leopold. Estos valores estarán determinados por factores como la duración e influencia del impacto, y se calificarán en una escala del 1 al 10 en cuanto a

magnitud y del -1 al -10 o 1 al 10 , según si el impacto es negativo o positivo, respectivamente.

Una vez tabulados los datos de cada interacción entre actividades de la planta y los factores ambientales, se totalizarán las magnitudes e importancias positivas y negativas. Luego, se dividirán por el total de interacciones positivas y negativas, lo cual permitirá obtener un índice de ponderación para los impactos ambientales, diferenciando los efectos beneficiosos de los adversos.

7.4.2. Evaluación de problemas y limitaciones

Caracterizar todos los problemas identificados a lo largo del desarrollo del proyecto para el inicio de operaciones de la planta de fabricación de filamento de impresión con PET reciclado, estos riesgos se asignarán según la responsabilidad de cada área funcional de la organización, estos problemas se tabularán de manera cruzada entre sí en una matriz de análisis estructural (Vester) donde se les asignara un nivel de impacto o motricidad respecto a sus pares de acuerdo con la siguiente escala.

- 0= nulo impacto o motricidad
- 1= Impacto o motricidad baja
- 2= impacto o motricidad media
- 3= impacto o motricidad alta

Posteriormente se graficará la motricidad respecto a la dependencia en un plano cartesiano con los siguientes cuadrantes:

- Zona de poder: se ubican los problemas con mayor motricidad y baja dependencia, es decir los que más afectan, pero menos se ven afectados.
- Zona de conflicto: se ubican los problemas con mayor motricidad y dependencia, es decir los que más afectan, y más se ven afectados.

- Zona de salida o resultado: Se ubican los problemas con menor motricidad y mayor dependencia, es decir problemas provocados por otros problemas
- Zona de problemas autónomos: Se ubican los problemas que presentan menos motricidad y dependencia, es decir los que menos afectan a la organización

Dado lo anterior se procede a formular estrategias que puedan mitigar en primer lugar los problemas que se ubiquen en la zona de conflicto, seguidos de los problemas ubicados en la zona de poder, con la solución o mitigación de los problemas de los cuadrantes ya mencionados, los que se encuentran ubicados en la zona de problemas autónomos y zona de resultados se solucionaran o mitigarán automáticamente.

8. Ejecución

8.1. Revisión y diagnóstico del potencial de impresión 3D con material reciclado.

8.1.1. Viabilidad y limitaciones del PET reciclado en manufactura aditiva por método PRISMA

Método

En esta investigación se realizó una revisión sistemática de la literatura sobre el uso de polímeros reciclados, con énfasis en el tereftalato de polietileno (PET) para la fabricación de filamento de impresión 3D, además de la viabilidad económica de actividades afines. Para estructurar apropiadamente el proceso, se siguieron las siguientes pautas conforme a la declaración PRISMA, lo que permitió seleccionar y analizar de manera minuciosa los estudios relevantes para la investigación. A continuación, se explicará el paso a paso de cómo se llevó a cabo esta revisión y cada una de sus etapas.

Búsqueda inicial

Las primeras búsquedas se realizaron a finales de 2023 utilizando Google Scholar, con el propósito de explorar el campo de investigación y obtener una visión general de los estudios previos. Posteriormente en abril de 2024, el enfoque de la búsqueda se refinó utilizando los términos más específicos como “3D Printing filament”, “PET”, “Recycled”, y “Environmental impact” en la base de datos Scopus. Estas búsquedas arrojaron una cantidad considerable de artículos relacionados. En su gran mayoría respecto a su enfoque o campo de aplicación, resultaron poco útiles en la revisión, pero brindaron una perspectiva más amplia de la temática.

Búsqueda sistemática

La revisión sistemática se realizó en la segunda mitad de 2024 en Scopus, Google Scholar y ScienceDirect, delimitando los resultados a publicaciones realizadas desde 2018 hasta la actualidad, debido a las limitaciones de ScienceDirect para utilizar ecuaciones de búsqueda extensas se empleó una ecuación más simple que incluye los términos relevantes para esta investigación como lo son el filamento de impresión y el uso del PET reciclado. Se excluyó el término “*Influence*”, ya que es el más comúnmente utilizado en trabajos que abordan el cambio de propiedades de los materiales tras el proceso de impresión, dado que este tema es tan amplio y complejo, podría constituir una investigación independiente. Este estudio, se enfoca en la viabilidad del uso de los materiales reciclados como el PET como insumo en la manufactura aditiva sin entrar en los detalles sobre lo que ocurre con sus propiedades después de la impresión. La ecuación de búsqueda resultante que arrojó los mejores resultados en ScienceDirect fue la siguiente:

(3D Printing filament OR Additive manufacturing filament) AND (Economic feasibility OR Profitability) AND (Polymers OR Plastic Materials OR Thermoplastics) AND (Recycled) NOT (Influence)

En Scopus gracias a la posibilidad que tiene esta base de datos de utilizar ecuaciones de búsqueda más complejas, se procuró formular un filtro mucho más específico que en ScienceDirect, esto representa ventajas significativas como la precisión de los resultados, optimización de tiempo en la revisión y un mayor control en la afinidad de los resultados con el propósito de esta investigación. Finalmente, la ecuación utilizada fue la expuesta a continuación:

(3D Printing filament OR Additive manufacturing filament) AND (Polyethylene terephthalate OR PET OR Virgin PET OR Recycled PET) AND (Polymers OR Plastic Materials OR Thermoplastics) AND (Recycled OR Recycling) AND (Post consumer Waste OR Plastic waste OR Recycled materials) AND (Material

properties OR Mechanical properties) AND (Environmental impact OR Sustainability OR Life cycle analysis OR LCA) AND (Economic feasibility OR Cost analysis OR Profitability)

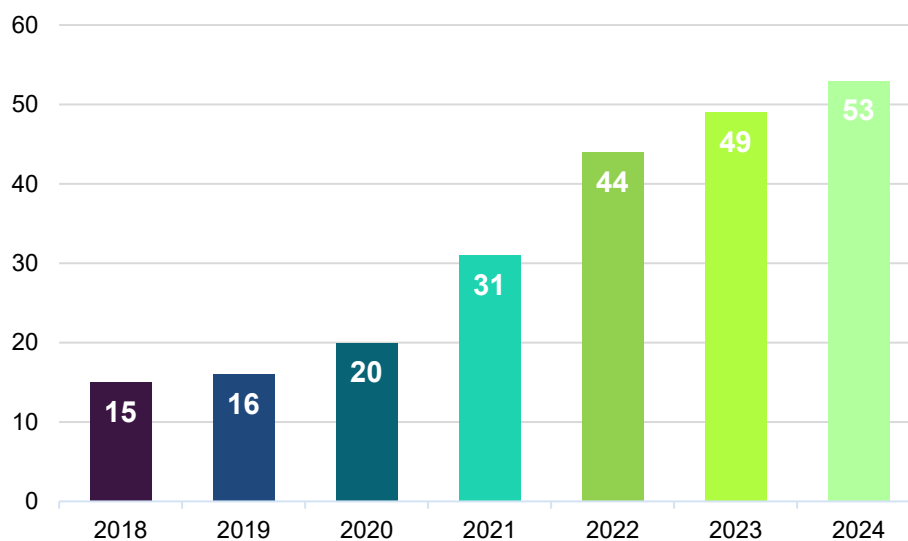
Como resultado de las búsquedas realizadas, en Scopus se obtuvieron 60 artículos, mientras que en ScienceDirect se identificaron 168 publicaciones. Antes de proceder a la selección de los artículos pertinentes, se llevará a cabo una búsqueda manual adicional en Google Scholar con el fin de complementar los resultados y asegurar que se incluyan todas las investigaciones relevantes para el estudio.

Panorama

Con el propósito de identificar patrones en este campo de investigación se realizó un análisis superficial que caracterizara los países y el año de publicación de los distintos documentos identificados, obteniendo estos resultados:

Año de publicación

Este campo de investigación está en pleno auge, como lo reflejan los años de publicación de los estudios. En ambas bases de datos se observan pocos estudios previos a 2018, con solo 64 en total (62 en ScienceDirect y 2 en Scopus). Además, es evidente el crecimiento en el interés por este tema, ya que el número de investigaciones ha aumentado con el tiempo, como se muestra a continuación:

Figura 1 Numero de publicaciones por año

Fuente: Elaboración propia

País de origen

Otro factor interesante identificado en este primer acercamiento con las publicaciones es la variedad de países presentes en este campo de investigación, para esto se identificaron los países de origen de los autores relacionados a las distintas publicaciones obteniendo 55 países diferentes, que se distribuyen entre todos los continentes, los cinco países con mayor número de publicaciones son; Estados Unidos, India, China, Reino Unido y Canadá. Los demás países se distribuyen en la siguiente tabla (Tabla 1) y el siguiente mapa (Figura 2)

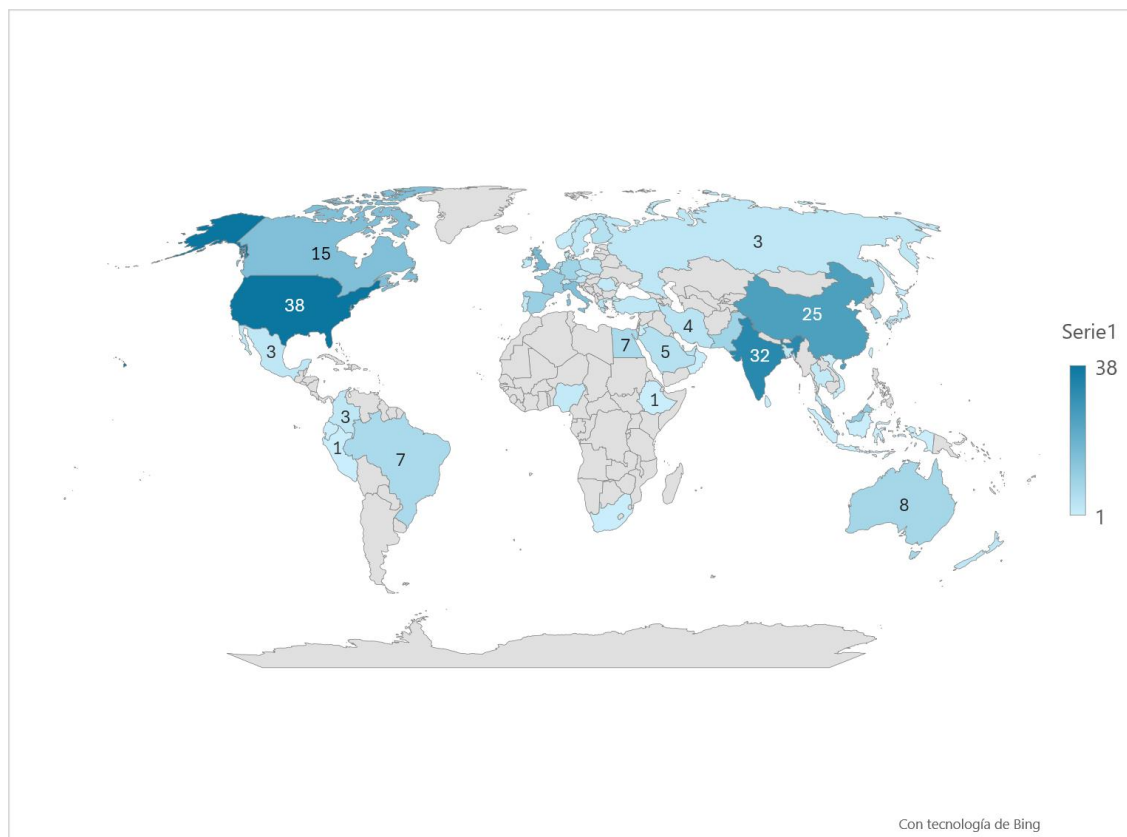
Tabla 1 Número de publicaciones por país

País	Número de publicaciones
EE. UU.	38
India	32
China	25
Reino Unido	17
Canadá	15
Italia	15
Malasia	11
Corea del sur	10
España	10
Francia	10
Alemania	9
Pakistán	9
Australia	8
Singapur	8
Brasil	7
Egipto	7
Países bajos	6
Arabia Saudita	5
Catar	5
Finlandia	5
Emiratos árabes unidos	4
Grecia	4
Irán	4
Polonia	4
Austria	3
Bangladesh	3
Colombia	3
México	3
Nueva Zelanda	3
República checa	3

Rusia	3
Suecia	3
Turquía	3
Bélgica	2
Dinamarca	2
Irlanda	2
Japón	2
Nigeria	2
Noruega	2
Portugal	2
Rumanía	2
Tailandia	2
Chile	1
Ecuador	1
Escocia	1
Etiopia	1
Indonesia	1
Jordania	1
Omán	1
Perú	1
Sri Lanka	1
Sudáfrica	1
Suiza	1
Taiwán	1
Vietnam	1
Total	326

Fuente: elaboración propia

Figura 2 Distribución geográfica de publicaciones



Fuente: Elaboración propia

Criterios de inclusión

- Investigaciones publicadas a partir de 2018 en adelante, para garantizar la actualidad de la información y enfoques recientes en el campo
- Estudios que traten específicamente sobre la reutilización de polímeros en la fabricación de filamento de impresión 3D
- Estudios relacionados a los procesos de fabricación de filamento de impresión
- Investigaciones relacionadas a la reutilización del tereftalato de polietileno (PET)

- Estudios que aborden otros aspectos relacionados a la reutilización de polímeros como el impacto ambiental y rentabilidad económica del ejercicio

Criterios de exclusión

- Investigaciones publicadas antes del 2018
- Trabajos enfocados en la influencia de los parámetros de impresión en la resistencia de los polímeros impresos
- Investigaciones basadas únicamente en simulaciones o modelaciones teóricas
- Estudios que impliquen la modificación de las impresoras 3D

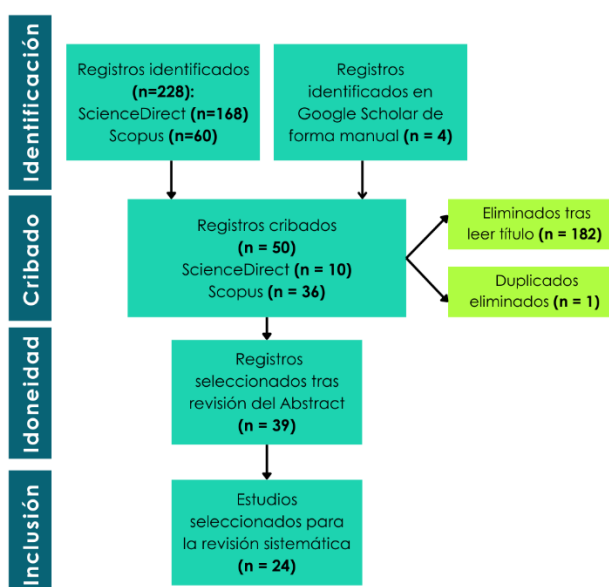
Búsqueda manual

Después de filtrar todos los documentos identificados mediante las dos ecuaciones de búsqueda en las bases de datos *ScienceDirect* y *Scopus*, se realizó el primero de tres filtros. Este filtro inicial consistió en leer los títulos de los documentos para llevar a cabo un primer cribado que optimizara el proceso de selección. Tras esta revisión, se identificaron 46 documentos relevantes (10 en *ScienceDirect* y 36 en *Scopus*), y se descartaron 182 por falta de relación con el tema de investigación. Un documento adicional fue eliminado por estar duplicado en ambas bases de datos.

Se realizó también una búsqueda en Google Scholar, combinando distintos términos relacionados con el tema de investigación y considerando los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos. Los documentos seleccionados pasaron al segundo filtro, que consistió en la lectura de los resúmenes (*abstracts*). Este segundo filtro permitió identificar aquellos estudios que podrían contener información valiosa para la investigación, resultando en 39 documentos potencialmente relevantes.

En el tercer y último filtro, se llevó a cabo una lectura más profunda, enfocándose en los resultados y discusiones de cada documento. Durante esta fase, se descartaron 15 estudios adicionales, ya sea porque los resultados no aportaban valor significativo, porque el acceso estaba restringido o porque el documento requería pago. Finalmente, se seleccionaron y analizaron 24 documentos, cuya síntesis se presenta en la tabla 1.

Figura 3 Diagrama de flujo PRISMA en 4 niveles



Nota: Este diagrama representa todo el proceso de filtro y selección de los documentos identificados mediante las ecuaciones de búsqueda.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Para iniciar la revisión de los documentos, es fundamental identificar los puntos clave que aportan valor a nuestra investigación. Con este propósito, se ha elaborado la siguiente tabla, en la cual cada investigación seleccionada ha sido tabulada y clasificada según su temática.

Las categorías establecidas son las siguientes:

- **Investigaciones sobre impacto ambiental (5 publicaciones):**
En esta categoría se incluyen todos los estudios cuyo objetivo fue evaluar el impacto ambiental del reciclaje de polímeros para su uso en la industria de manufactura aditiva. Estas investigaciones analizan los beneficios y desafíos del reciclaje de plásticos como estrategia para reducir la contaminación y promover la sostenibilidad.
- **Investigaciones sobre pruebas de materiales (8 publicaciones):**
Estas investigaciones se centraron en evaluar el comportamiento de distintos polímeros durante su procesamiento para su reutilización en manufactura aditiva. Se analizaron materiales como PET, PLA, ABS y mezclas de polímeros reciclados y vírgenes, con el fin de determinar cómo afectan estas combinaciones a sus propiedades físicas y químicas.
- **Investigaciones sobre propiedades mecánicas (11 publicaciones):**
El objetivo de estos estudios fue examinar cómo el proceso de reciclaje influye en las propiedades mecánicas de los polímeros, lo cual puede limitar sus aplicaciones en impresión 3D. Para ello, se llevaron a cabo pruebas de compresión y tracción siguiendo normas internacionales de ensayo de materiales, permitiendo la comparación de las propiedades del material reciclado frente al material virgen

Tabla 2 Resumen de estudios revisados

Autores	Lugar	Titulo	Objetivo	Materiales tratados	Resultados	Categoría
De La Cruz et al., 2022	Perú	3D Print, Circularity, and Footprints	Evaluacion de impacto ambiental y beneficios en sectores economicos de la impresión 3D	Ninguno	Este estudio destaca los beneficios de la impresión 3D en distintos sectores económicos, especialmente en la facilidad para crear prototipos y diseños personalizados de manera más rápida y económica. Sin embargo, aunque el impacto ambiental de la impresión 3D es menor en comparación con los métodos tradicionales de prototipado, se subraya la necesidad de profundizar en el uso de materiales más sostenibles y accesibles para pequeñas empresas, promoviendo así un cambio positivo en el medio ambiente.	Medio ambiente
Devra et al., 2024	India	Recycling, thermophysical characterisation and assessment of low-density polythene waste as feedstock for 3D printing	Estudio de impacto ambiental de la fabricación de filamento de impresión 3D a partir de polietileno de baja densidad (LDPE) obtenido a partir de bolsas de leche	LDPE reciclado	Establece un método sostenible y viable técnicamente para reciclar bolsas de LDPE, se evaluó la huella de carbono en comparación de los métodos convencionales para tratar el plástico virgen, los resultados demuestran que los residuos de LDPE pueden transformarse en filamento de alta calidad con menores emisiones de CO2 frente a practicas tradicionales.	Medio ambiente
Cruz et al., 2020	Francia	Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy	Examinar avances en el reciclaje de termoplásticos en la manufactura aditiva por medio de una revisión sistemática de la literatura	PLA y ABS reciclados principalmente	Caracterizó las seis etapas principales de esta actividad (recuperación, preparación, composición, materia prima, impresión, calidad), determinando que en las primeras dos etapas no se han realizado suficientes trabajos, a diferencia de las demás donde si se ha avanzado bastante determinando una viabilidad técnica	Medio ambiente
Haishang et al., 2021	Inglaterra	Additive manufacturing of recycled plastics: Strategies towards a more sustainable future	Revision sistematica de la literatura con enfoque en las 5R (Refuse, Reduce, Reuse, Repurpose, and Recycle) en la reutilizacion de polimeros para la fabricacion de filamento de impresión.	Polimeros en general	Se concluye que la reutilización de polímeros es una necesidad global debido a la baja tasa de reciclaje, en países desarrollados esta oscila el 30%, mientras que en países en vía de desarrollo esta cifra esta mas cerca del 0%, el estudio propone un modelo de control, reciclaje y fabricación sostenible que optimiza el reciclaje de polímeros en la manufactura aditiva, disminuyendo costos y emisiones de CO2 .	Medio ambiente
Ponis et al., 2021	India / Bangladesh	A Systematic Literature Review on Additive Manufacturing in the Context of Circular Economy	Revisión sistemática de la literatura para contribuir al campo científico determinando el estado actual del campo investigativo, contribuir a los esfuerzos ya existentes y señalando las brechas donde concentrar futuras investigaciones.	PLA, ABS, PET y HDPE (Reciclados)	Se analizaron 206 publicaciones en categorías como “Métodos de Manufactura Aditiva”, “Materiales de AM”, “Reciclaje”, “Reutilización” y “Remanufactura y Reparación”. Las dos áreas más populares fueron los métodos de AM y el reciclaje, mientras que materiales, reutilización y remanufactura requieren mayor investigación, sobre todo en aspectos como los ciclos térmicos afectan las propiedades de los materiales durante el proceso de reciclaje.	Medio ambiente

Hafiz et al., 2024	Catar	Recent advancements in sustainable production and consumption: Recycling processes and impacts for additive manufacturing	Dar una vision general del conocimiento presente sobre el uso de polímeros reciclados en la fabricacion aditiva, indagando las técnicas de reciclaje químico como también mecanico, para así analizar los efectos en reforzar los materiales reciclados, sus ciclos de reciclaje y los parametros al momento de impresion en las propiedades mecanicas de las piezas impresas.	PET, PLA, ABS y HDPE (Reciclados)	El uso de polímeros reciclados en la impresión 3D puede minimizar en gran medida la contaminación plástica y de igual forma incentivar la economía circular, subrayando que reforzar los polímeros con fibras de carbono y sílice optimizan las propiedades mecánicas y térmicas de los polímeros reciclados. Se evaluaron desafíos como, la degradación de los polímeros tras varios ciclos de reciclaje y la necesidad de optimizar parámetros de impresión para mitigar la degradación térmica. Además, se concluye que se requiere más investigación en los campos de la viabilidad económica y el impacto ambiental a largo plazo.	Propiedades mecánicas
Aubrey et al., 2018	Suiza	Fused Particle Fabrication 3-D Printing: Recycled Materials' Optimization and Mechanical Properties	Comparación de propiedades mecánicas de polímeros reciclados y polímeros vírgenes en impresión 3D utilizando Gigabot X	ABS Y PLA (vírgenes), PET y PP (reciclados)	Se comprobó la viabilidad del proceso de impresión 3d usando pellets en lugar de filamento, con materiales vírgenes y reciclados. Esto sin comprometer significativamente sus propiedades mecánicas	Propiedades mecánicas
Delgado., 2021	España	Caracterización de filamento de PLA reciclado para impresión 3D	Estudio de viabilidad para la reutilización de piezas impresas en 3d para la fabricacion de filamento de impresión	PLA (reciclado)	Se establece una viabilidad técnica para la utilización de piezas ya impresas para la fabricación de filamento de impresión, pese a que las propiedades mecánicas son inferiores a la de los filamentos industriales, se establece que cuando el diámetro del filamento está mas cerca de 1,75 mm se obtienen mejores resultados.	Propiedades mecánicas
Mishra et al., 2023	India	Development and characterization of sustainable 3D printing filaments using post-consumer recycled PET: processing and characterization	Fabricacion de filamento para impresión 3D a partir de ABS reciclado junto con ABS virgen	ABS (reciclado y virgen)	El filamento fabricado a partir de ABS reciclado mezclado con ABS virgen con una proporción (50/50), presentó un módulo de Young similar al ABS comercial, lo que indica que es lo bastante fuerte como para emplearlo en piezas de buena calidad sin sufrir deformaciones de mayor consideración.	Propiedades mecánicas
Nur-A-Tomal et al., 2020	Australia	Direct transformation of waste children's toys to high quality products using 3D printing: A waste-to-wealth and sustainable approach	Determinar la viabilidad de reciclar juguetes plásticos para fabricar filamento de impresión 3D	ABS reciclado	Se evaluaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas de filamentos obtenidos tras el reciclaje de juguetes utilizando una extrusora de un solo tornillo. Donde se determinó que las propiedades son tan buenas como la de filamentos fabricados a partir de material virgen.	Propiedades mecánicas
Ragab et al., 2023	Alemania / Egipto	Plastic Waste Valorization for Fused Deposition Modeling Feedstock: A Case Study on Recycled Polyethylene Terephthalate/High-Density Polyethylene Sustainability	Evaluación de sostenibilidad de la mezcla de PET y HDPE para la fabricación de filamento de impresión 3D	PET y HDPE (Reciclados)	Se utilizo una mezcla de rPET y rHDPE en una proporción de 80:20 tratada mediante tres métodos de modificación de materiales: la compatibilización con anhídrido maleico, funcionalización con Dodecilsulfato sódico y una combinación de ambos lo que resultó en un método novedoso, logrando mejoras en las propiedades mecánicas del PET en la resistencia la impacto y modulo elástico. las mezclas demostraron ser económicamente eficientes con una reducción de costos hasta del 50% y un buen rendimiento durante la impresión. en el LCA se demostró que la mezcla reciclada presenta un impacto ambiental menor que las mezclas vírgenes.	Propiedades mecánicas

Romani et al., 2023	Canada / Italia	Recycled polycarbonate and polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene feedstocks for circular economy product applications with fused granular fabrication-based additive manufacturing	Determinar la viabilidad técnica del uso de una mezcla de policarbonato con ABS por medio de pruebas de impacto, tracción y comportamiento en exteriores	PC y ABS (Reciclados)	Utilizando una impresora 3D FGF de gran formato modificada se evaluaron las propiedades mecánicas de la mezcla de ABS y PC por medio de pruebas de tracción e impacto conforme a las normas ATSM, los resultados demostraron ser compatibles frente a los materiales vírgenes, demostrando la viabilidad del rPC/ABS.	Propiedades mecánicas
Spirio et al., 2024	Italia	Plastic waste recycling in additive manufacturing: Recovery of polypropylene from WEEE for the production of 3D printing filaments	Comparación de 2 muestras de RAEE (residuos de aparatos electrónicos), con una alta y una baja concentración de aditivos inorgánicos.	PP (Virgen y reciclado)	Se demostró que los RAEE, principalmente PP con una alta concentración de aditivos inorgánicos y talco presentan condiciones favorables para ser reutilizados en la fabricación de filamento de impresión, ya que cuentan con propiedades mecánicas similares a la de filamento comerciales.	Propiedades mecánicas
Zhao et al., 2018	China	Close-looped recycling of polylactic acid used in 3D printing: An experimental investigation and life cycle assessment	Determinar el potencial de reciclaje de PLA utilizado en impresión 3D evaluando las propiedades de materiales y rendimiento ambiental	PLA (reciclado y virgen)	Se determinó que el PLA una vez impreso, se puede reprocesar para ser impreso nuevamente un máximo de 2 veces, sin que comprometa en mayor medida las propiedades mecánicas del material	Propiedades mecánicas
Cruz et al., 2024	Francia	Multi-material distributed recycling via material extrusion: recycled high density polyethylene and poly (ethylene terephthalate) mixture	Estudiar la posibilidad de utilizar una mezcla de polietileno de alta densidad (HDPE) y tereftalato de polietileno (PET) reciclados como materia prima para la impresión 3D a gran escala por el proceso de fabricación granular fusionada (FGF).	PET y HDPE (Reciclados)	Se demostró que es factible utilizar una mezcla de plásticos reciclados, concretamente 90% PET y 10% HDPE, para la impresión 3D a gran escala a través de la técnica de fabricación granular fusionada (FGF). Esto redujo los costos de producción hasta en un 88%, asimismo recomienda que se evalúen distintas composiciones de plásticos reciclados para mejorar la viabilidad económica y la calidad de los productos impresos.	Propiedades mecánicas
Shiferaw y Gebremedhen., 2022	Etiopia	Recycled Polymer for FDM 3D Printing Filament Material: Circular Economy for Sustainability of Additive Manufacturing	Revisión sistemática de la literatura para determinar la degradación de las propiedades mecánicas de los polímeros posconsumo utilizados en la fabricación de filamento de impresión.	ABS y PET (Reciclados y vírgenes)	Se concluye que aunque todos los polímeros pierden parte de sus propiedades después de ser reutilizados, siguen resultando ser un insumo interesante para la fabricación de filamento, ya que reducen los costos de fabricación y reducen la emisión de CO ₂ , se sugiere que se agregue una proporción de material virgen o aditivos según conveniencia del material a emplear.	Propiedades mecánicas
Byard et al., 2019	Canada	Green fab lab applications of large-area waste polymer-based additive manufacturing	Determinar viabilidad económica y eficiencia energética de impresoras (FPF/FGF) como la Gigabot X, en comparación con productos comerciales	PLA, ABS y HDPE (Reciclados)	Se ultima que la impresora 3D Gigabot X es una iniciativa económica y ecológica para la fabricación de artículos deportivos, aprovechando materiales reciclables con eficiencia energética.	Prueba de materiales
Coral A., s.f	Colombia	Extrusora de filamentos para impresión 3D con reciclado de botellas PET-G para prácticas de prototipado en laboratorios AUNAR	Diseño y construcción de extrusora de filamentos de impresión utilizando botellas recicladas	PET, PLA y ABS (Reciclados)	Se logró construir una extrusora de filamento pese a las dificultades para seguir el diseño propuesto, pero acudiendo a la compra de piezas que se acoplen al propósito del proyecto se logró entregar una máquina funcional con capacidad de producción de 1 kg/h de filamento con la capacidad de reciclar PET, ABS y PLA en forma de pellets, demostrando la viabilidad técnica del uso de polímeros reciclados en esta actividad.	Prueba de materiales

Kucloorya et al., 2022	México	Scientometric analysis and critical review of fused deposition modeling in the plastic recycling context	Análisis cientométrico del uso de termoplásticos en impresión 3D (FDM)	PLA, ABS, PET y PP (Reciclad)	Tras un análisis cientométrico de estudios entre 2013 y 2021 se determina que el PLA, ABS y PET presentan características adecuadas para ser utilizados en impresión 3D, mientras que el polipropileno (PP) requiere refuerzos y mezclas con compatibilizadores que mejoren su resistencia mecánica. Se concluye que los estudios en el futuro deben enfocarse en las propiedades mecánicas post impresión.	Prueba de materiales
Little et al., 2020	EE UU	Towards distributed recycling with additive manufacturing of PET flake feedstocks	Valorar el potencial del tereftalato de polietileno reciclado (rPET) posconsumo, concretamente de recipientes y botellas de agua, como insumo para la fabricación aditiva distribuida (DRAM) a través de la impresión 3D.	PET reciclado	La granulación, el tamizado y el calentamiento de rPET influyen en su forma y tamaño, afectando la calidad de la impresión. asimismo la calidad de las piezas impresas varía según la fuente y forma de la materia prima (ya sean escamas o pellets), lo que refleja la necesidad de exploraciones futuras en caracterización de materiales y diseño de máquinas.	Prueba de materiales
Oyintola et al., 2023	Inglaterra	The potential of converting plastic waste to 3D printed products in Sub-Saharan Africa	Estudio de factibilidad para convertir desechos plasticos en filamento de impresio 3D	PLA, PP, PET y ABS (Reciclad)	Mediante una revisión sistemática estricta de la literatura y una fase de experimentación se determino la viabilidad del uso de plásticos reciclados en la fabricación de filamento de impresión 3D, identificando dificultades como la necesidad del buen tratamiento de los plásticos previo a su reciclaje, la dificultad de obtener un filamento con un diámetro constante, y en el caso del pet se sugiere que en el proceso de extrusión sea mezclado con pellets de PET vírgenes ya que se demostró que los filamentos hechos 100% de pet reciclado eran muy frágiles debido a la cristalización del material en consecuencia de los ciclos térmicos.	Prueba de materiales
Petsiuk et al., 2022	EE UU / Canada	Waste Plastic Direct Extrusion Hangprinter	Diseño de impresora de bajo costo que permite la extrusión directa de desechos plásticos reciclados en gran volumen	PLA (reciclado, virgen y combinado)	Diseño de una impresora 3D híbrida de código abierto, que permite la extrusión directa de desechos plásticos reciclados en grandes volúmenes. Aunque las pruebas iniciales muestran que la resistencia de las piezas es menor debido a materias primas no uniformes, los resultados son prometedores y abren oportunidades para mejorar el diseño y apoyar el reciclaje distribuido a gran escala.	Prueba de materiales
Ramos y Lombana., 2019	Colombia	Diseño e implementación de un sistema de extrusión de filamento para impresión 3D a partir de botellas recicladas	Diseño de extrusora que aproveche botellas fabricadas con diferentes tipos de plasticos	HDPE, PP, PS, PET, LDPE y PVC (reciclados)	En diversas pruebas con los materiales disponibles, se determinó que el HDPE y el PP son los más adecuados para la fabricación de filamento de impresión 3D, ya que no presentaron mayores dificultades durante la extrusión y produjeron un filamento relativamente uniforme. Por otro lado, el PET y el PS mostraron limitaciones debido a la humedad que estos polímeros tienden a acumular, por lo que se recomienda un proceso de secado a 80°C antes de la extrusión. El PVC y el LDPE fueron excluidos debido a incompatibilidades técnicas con el sistema de extrusión.	Prueba de materiales
Barrios et al., 2023	Colombia	Diseño, construcción e implementación una planta (prototipo) para la producción de pellets y filamentos de PET reciclado, mejorando las técnicas de triturado, extrusión y enfriamiento.	Planta prototipo para fabricación de pellets y filamentos	PET(reciclado) y PETG	Se recomienda que el PET reciclado debe mezclarse con PETG para lograr filamento apropiado para una impresión 3D óptima. Además, es fundamental el enfriamiento por agua en la producción de filamentos y pellets para así controlar la contracción y propiedades del material.	Prueba de materiales

Fuente: Elaboración propia

Síntesis de resultados

Medio ambiente

El 80% de los estudios revisados coinciden en que la impresión 3D con materiales reciclados es más ecológica en comparación con los métodos convencionales de manufactura aditiva, gracias a su potencial para reducir emisiones de CO₂ y minimizar residuos plásticos. De-la-Cruz-Díaz et al. (2022) destacan que, aunque el impacto ambiental es menor, es crucial avanzar hacia el uso de materiales sostenibles accesibles para pequeñas empresas. Devra et al. (2024) respaldan esta afirmación al demostrar que la reutilización de bolsas de LDPE reduce significativamente la huella de carbono frente al uso de plástico virgen. Wu et al. (2022) enfatizan la urgencia de adoptar modelos sostenibles especialmente en países en desarrollo, donde las tasas de reciclaje son considerablemente bajas. Por su parte, Cruz Sanchez et al. (2020) y Ponis et al. (2021) coinciden en la necesidad de continuar investigando las etapas iniciales del reciclaje y el comportamiento térmico de los materiales reciclados, claves para su efectividad ambiental. En conjunto, estos trabajos subrayan que la manufactura aditiva con materiales reciclados representa una estrategia sólida dentro de la economía circular.

Prueba de materiales

El 75% de los estudios sobre pruebas de materiales determinan que el uso de polímeros reciclados para impresión 3D es técnicamente viable, siempre que se tomen en cuenta aspectos como el secado, la homogeneidad del material y el control del diámetro del filamento. Por ejemplo, Ramos & Lombana (2019) y Coral (n.d.) demuestran que materiales como el HDPE, PP, y PET pueden ser reciclados eficientemente para fabricar filamentos, siempre que se realicen ajustes técnicos como el secado a 80°C. Little et al. (2020) y Oyinlola et al. (2023) resaltan que la calidad del filamento reciclado depende de la forma de la materia prima (pellets vs. escamas) y sugieren mezclar con PET virgen para

mejorar la resistencia. De hecho, el 38% de los estudios sugieren mezclar hasta un 50% de material virgen, como lo indican Angel et al. (2023), que recomiendan usar PETG junto con PET reciclado para mejores resultados. Petsiuk et al. (2022) proponen soluciones de extrusión directa para reciclaje distribuido, aunque aún con desafíos en resistencia. En conjunto, estas investigaciones reafirman que, aunque existen retos técnicos, la reutilización de materiales para impresión 3D es posible y con un potencial prometedor.

Propiedades mecánicas

El 100% de los estudios sobre propiedades mecánicas concluyen que es viable utilizar materiales reciclados en impresión 3D, ya sea en forma pura o combinada, sin comprometer significativamente el rendimiento estructural. Hafiz et al. (2024) destacan que, al reforzar los polímeros reciclados con fibras de carbono o sílice, se logran mejoras térmicas y mecánicas notables, aunque advierten sobre la degradación tras varios ciclos de reciclaje. Woern et al. (2018) demuestran que, incluso utilizando pellets reciclados, las propiedades mecánicas no se ven comprometidas. Además, el 72% de los estudios, como los de Ror et al. (2023), Ragab et al. (2023), y Nur-A-Tomal et al. (2020), coinciden en que los materiales reciclados, especialmente cuando se mezclan con polímeros vírgenes, logran propiedades similares a las del material original. Romani et al. (2023) y Spirio et al. (2024) refuerzan esta afirmación, mostrando resultados positivos en pruebas de tracción e impacto. Zhao et al. (2018) aporta que el PLA puede ser reprocesado hasta dos veces sin una pérdida considerable en sus propiedades. Así, estos estudios consolidan la viabilidad técnica de los polímeros reciclados en impresión 3D, respaldando tanto su resistencia como su aplicabilidad en productos finales.

En conclusión, la investigación confirma que el uso de PET reciclado en impresión 3D es una opción sostenible y técnicamente viable. Diversos estudios demuestran que, al ser mezclado con PET virgen o modificado con aditivos, el material conserva propiedades mecánicas comparables al PET comercial, lo que lo hace apto para aplicaciones funcionales. Además, se ha

comprobado que su procesamiento adecuado (incluyendo secado, granulación y enfriamiento controlado) es clave para obtener filamentos de calidad. Estos resultados posicionan al PET reciclado como un insumo estratégico para impulsar una manufactura más eficiente y alineada con los principios de la economía circular.

8.1.2. Diagnóstico de patrones de reciclaje

Caracterización de la Muestra Representativa

Con el objetivo de caracterizar los hábitos de reciclaje en el municipio de Soacha y sus alrededores, se diseñó una encuesta como herramienta de recolección de datos, para así evaluar la disponibilidad de botellas PET como materia prima. Para ello, se estableció una población de referencia de 782,647 habitantes, correspondiente a la población total de Soacha. Con un nivel de confianza del 90%, se fijó una muestra representativa de 271 hogares. La fórmula utilizada para el cálculo de la muestra fue la siguiente:

$$n = \frac{n * z^2 * p (1 - p)}{(n - 1) * E^2 + z^2 * p (1 - p)}$$

$$n = \frac{782,647 * (1.645)^2 * 0.5(1 - 0.5)}{(782,647 - 1) * (0.05)^2 + (1.645)^2 * 0.5 (1 - 0.5)}$$

$$n = 271$$

El valor de **Z** va ligado a un nivel de confianza. Este se estableció a partir de la tabla de **distribución normal** estándar, la cual sirve los valores críticos de **Z** para diferentes niveles de confianza. En la tabla, se ubicó el valor de **Z** que

deja un área acumulada del **90%**. Con esto da un valor correspondiente a **1.645**.

Tabla 3 Tabla de Distribución Normal

Nivel de confianza	z
99.7	3
99	2.58
98	2.33
96	2.05
95	1.96
90	1.645
80	1.28
50	0.674

Fuente: Adaptado de(1.3.6.7.1. *Cumulative Distribution Function of the Standard Normal Distribution*, n.d.)

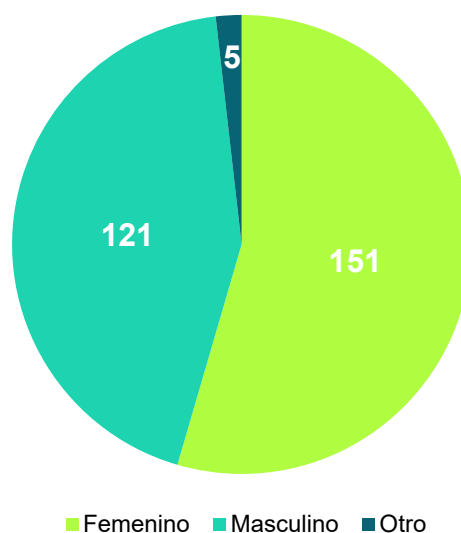
Se tuvo un alcance de 277 **hogares** en el municipio, despuntando levemente el tamaño muestral calculado de **271 hogares**. Además, se envolvió la participación de **68 empresas y/o emprendimientos** locales, lo que permitió alcanzar una perspectiva más completa de los hábitos de reciclaje tanto a nivel doméstico como empresarial.

Cabe enfatizar que las personas que tienen empresas o emprendimientos respondieron dos veces: una como **hogares** y otra como **empresarios**. Esto se debió a que, en muchos casos, los empresarios o empresarias son también residentes del municipio y, por lo tanto, forman parte de la población general.

Caracterización demográfica

Género

Figura 4 Distribución de género de las personas encuestadas

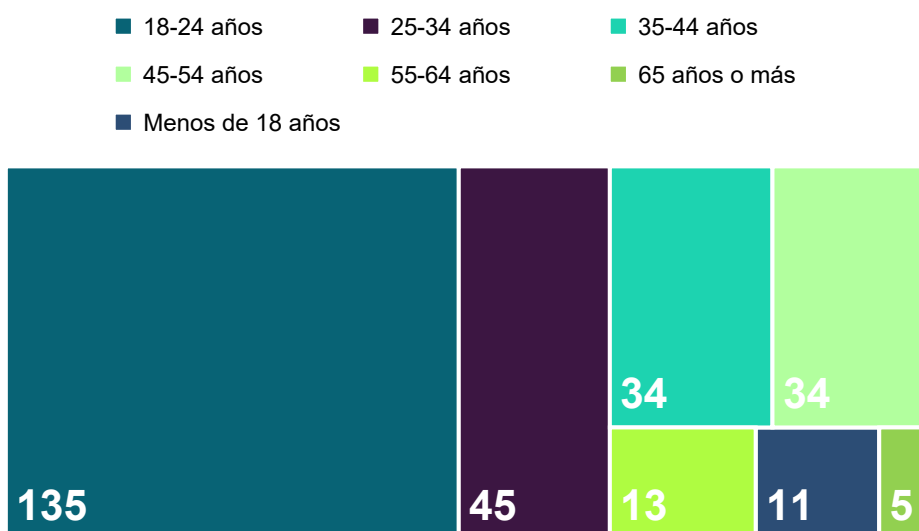


Fuente: Elaboración propia

En cuanto al género, el 55 % de las personas encuestadas son mujeres, el 44 % son hombres y el 2 % corresponden a personas con identidades de género diversas. Esta distribución muestra un alcance equilibrado entre hombres y mujeres, asegurando una representación amplia de ambos géneros en el análisis de los hábitos de reciclaje en el municipio de Soacha.

Distribución etaria

Figura 5 Distribución etaria de las personas encuestadas

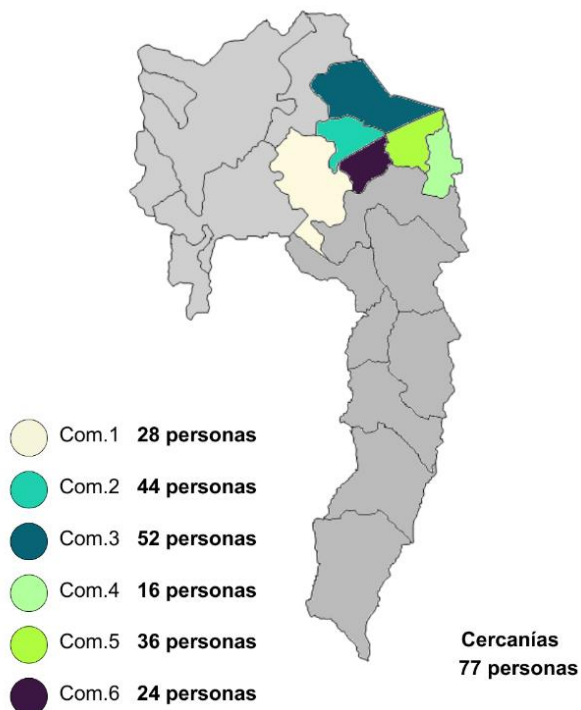


Fuente: Elaboración propia

La distribución etaria de los encuestados refleja una muestra diversa que abarca distintos rangos de edad. La mayoría de los participantes se encuentra en los grupos de adultos jóvenes, pero también se incluye a personas de diferentes edades, lo que permite tener una visión representativa de los hábitos de reciclaje a lo largo de distintas etapas de la vida. Esta diversidad etaria aporta una perspectiva integral a la investigación, permitiendo un análisis más amplio y representativo de las prácticas de reciclaje en el municipio de Soacha.

Distribución de encuestados según comuna

Figura 6 Distribución de personas por comuna

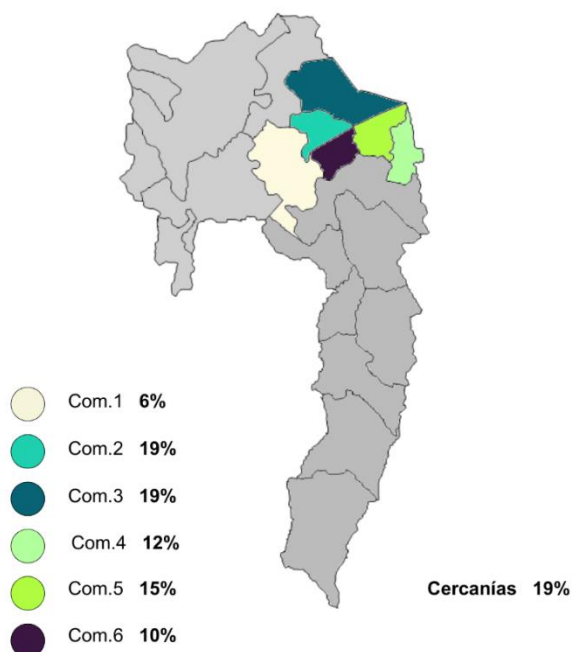


Fuente: Elaboración propia

La distribución de los encuestados por comuna muestra una representación variada de diferentes áreas del municipio de Soacha. Las comunas 2, 3 y 5, junto con las zonas aledañas al municipio, presentan una participación destacada, lo que permite contar con una perspectiva amplia de los hábitos de reciclaje en estas zonas. A su vez, las comunas 1, 4 y 6 también están representadas en la muestra, lo que contribuye a una comprensión general del contexto territorial. Esta cobertura geográfica favorece un análisis más equilibrado y contextualizado del comportamiento ambiental en el municipio.

distribución de empresas según comuna

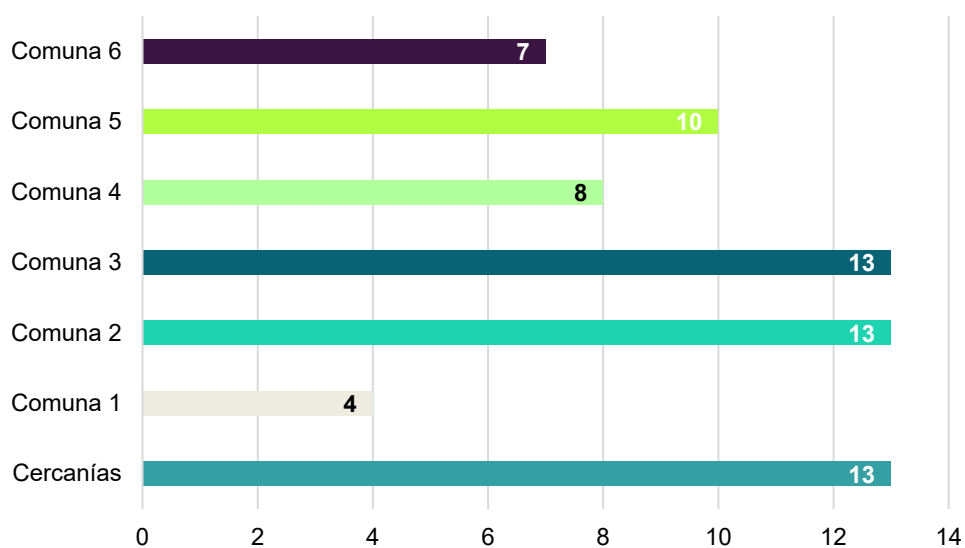
Figura 7 Distribución porcentual de empresas por comuna



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la distribución geográfica de las empresas encuestadas, se observa una presencia significativa en las comunas 2 y 3, cada una con el 19 % del total, seguidas por las empresas ubicadas en las cercanías del municipio, que también representan un 19 %. La comuna 5 concentra el 15 % de las empresas encuestadas, mientras que las comunas 4, 6 y 1 con los volúmenes más bajos representan el 12 %, 10 % y 6 % respectivamente. Esta dispersión territorial no solo permite identificar patrones de comportamiento empresarial frente al reciclaje, sino que también facilita determinar en qué zonas se concentra el mayor volumen de empresas potencialmente interesadas en la compra de filamento para impresión 3D, información clave para orientar estrategias comerciales y de distribución en el municipio de Soacha.

Figura 8 Número de empresas por comuna



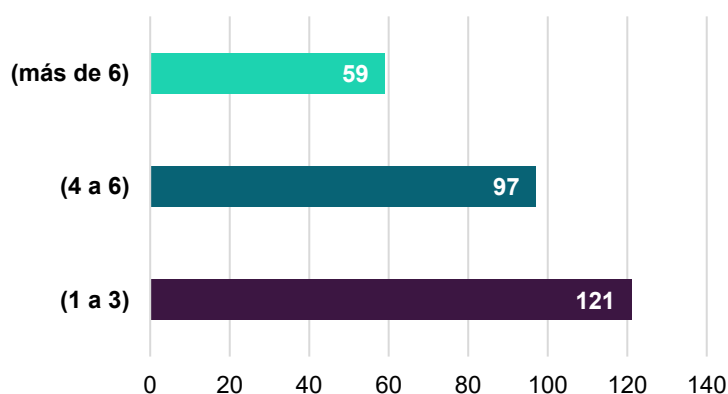
Fuente: Elaboración propia

La cobertura alcanzada por la encuesta se refleja en la presencia de empresas encuestadas en todas las comunas del municipio, así como en sus alrededores. Con registros en comunas como la 2, 3 y las cercanías —donde se concentra el mayor número de empresas encuestadas—, y también en zonas con menor densidad como la comuna 1, se evidencia un esfuerzo por incluir una muestra representativa del tejido empresarial local. Este alcance territorial garantiza una base sólida para el análisis, permitiendo comprender con mayor precisión las dinámicas y oportunidades relacionadas con la posible comercialización de filamento para impresión 3D en Soacha.

Resultados obtenidos a través de la herramienta de recolección de datos

¿Cuántas botellas plásticas estimas que se desechan en tu hogar por semana?

Figura 9 Cantidad estimada de botellas desechadas por hogar en una semana

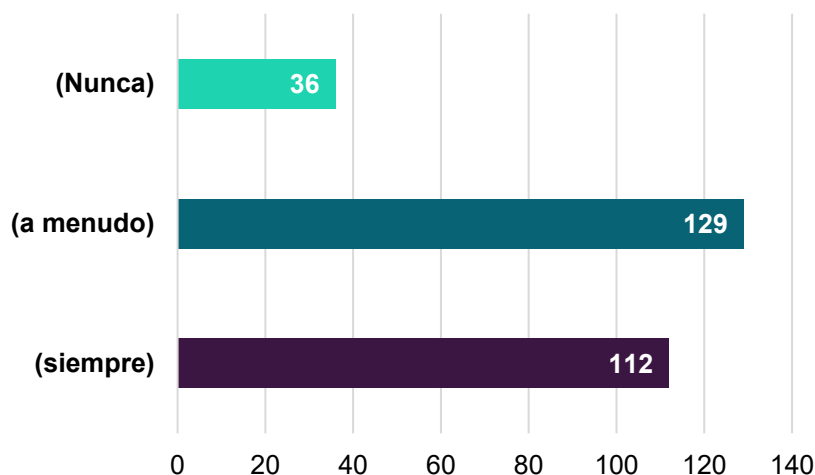


Fuente: Elaboración propia

El 21% de los hogares encuestados desechan más de 6 botellas plásticas a la semana, lo que representa una fuente clave de PET para la planta de filamento. El 79% restante desecha entre 1 y 6 botellas: 121 hogares de 1 a 3 botellas, 97 de 4 a 6, y 59 más de 6. Esta distribución refleja una tendencia de bajo a medio consumo de botellas plásticas

¿Con qué frecuencia separas las botellas de los residuos generados en tu hogar?

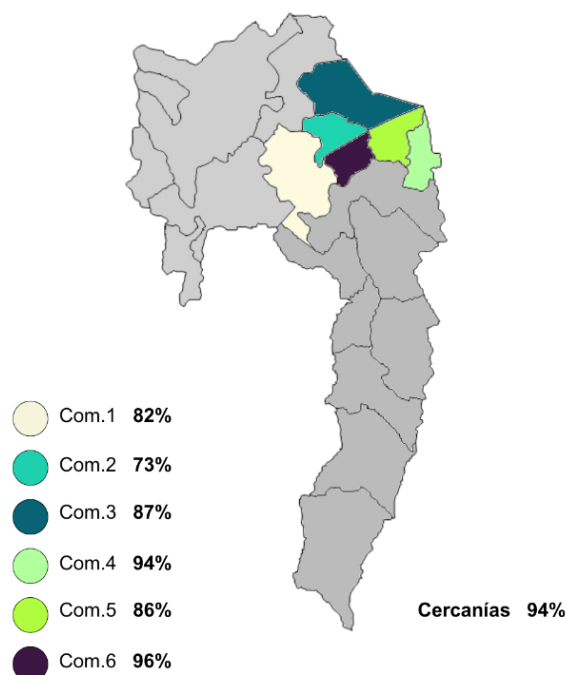
Figura 10 Frecuencia de separación de botellas plásticas por hogar en una semana



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la separación de residuos plásticos, los resultados muestran una notable diferencia en las prácticas de los encuestados. Si bien 36 personas nunca separan los plásticos de los desechos ordinarios, la mayoría, con 129 personas, lo realiza de manera habitual, mientras que 112 siempre llevan a cabo esta práctica. Este comportamiento refleja una conciencia creciente sobre la importancia de la separación de residuos, aunque aún persisten desafíos en la implementación de esta medida por parte de una minoría de la población.

Figura 11 Índice de separación de residuos por comuna

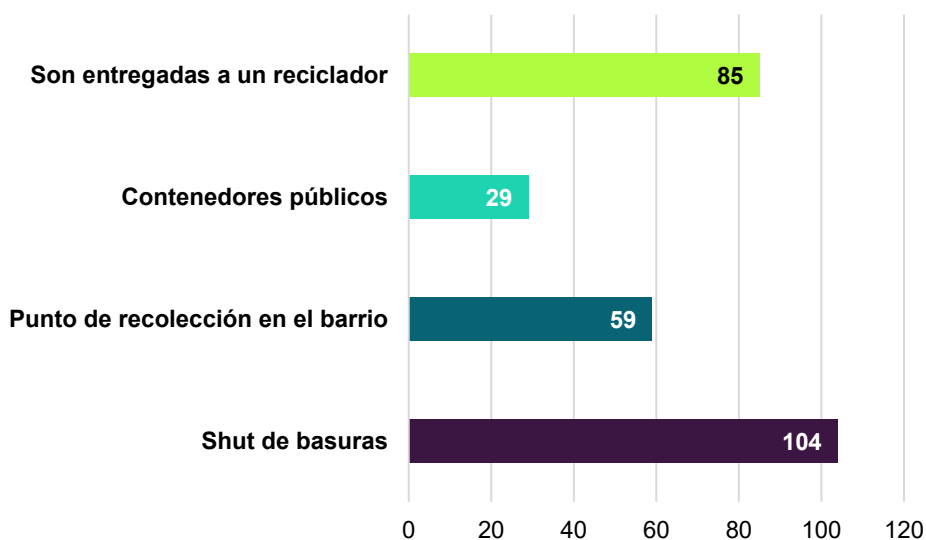


Fuente: Elaboración propia

Los índices de separación de residuos plásticos por comuna reflejan un panorama positivo en el municipio de Soacha, con porcentajes elevados que destacan una práctica frecuente y constante entre los hogares. La comuna 6 lidera con un 96%, seguida de cerca por la comuna 4 con un 94% y las cercanías con un 94%. También son destacables las comunas 3 y 5 con 87% y 86%, respectivamente. La comuna 1 y la comuna 2, con 82% y 73%, presentan porcentajes igualmente altos, lo que evidencia una gran conciencia sobre la separación de plásticos en la mayoría de la población. Estos elevados índices son cruciales, ya que garantizan una mayor facilidad en el proceso de reciclaje y contribuyen significativamente a la sostenibilidad del municipio. Además, es muy relevante destacar que estos altos índices aseguran que una planta de reciclaje de plástico en el municipio tendría acceso al material ya separado, lo que facilita su procesamiento y mejora la eficiencia en el reciclaje. Es fundamental que estos comportamientos positivos se sigan fomentando para asegurar la continuidad y mejora del reciclaje en la comunidad.

¿Dónde acostumbras a desechar las botellas plásticas?

Figura 12 Distribución de desechos plásticos según el lugar de disposición

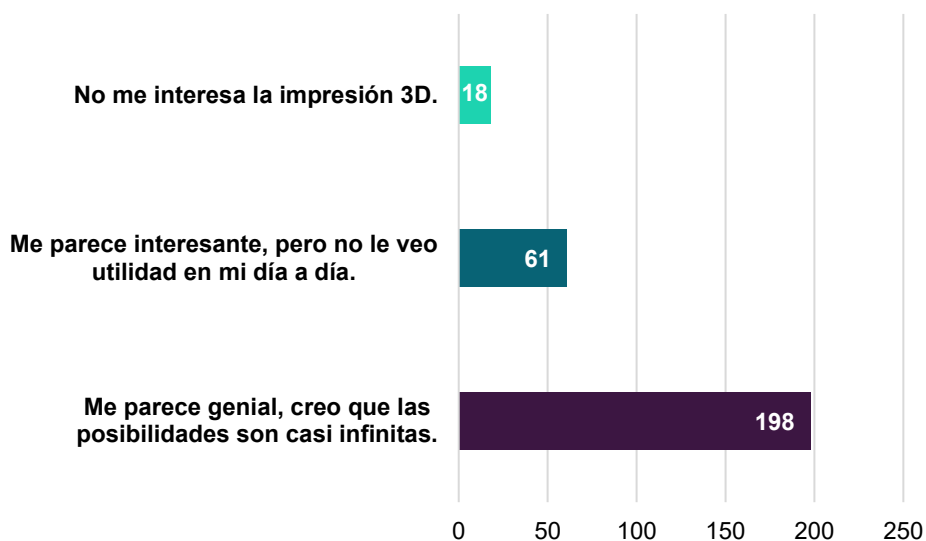


Fuente: Elaboración propia

Los datos revelan que mientras el 37.5% de hogares aún desecha botellas en basura convencional (pérdida crítica), existe un 30% que ya utiliza sistemas de recolección organizada (puntos limpios y recicladores), demostrando la base operativa para el acopio. Esto indica que, con campañas focalizadas en zonas de alto descarte y fortalecimiento de la red existente, se puede redirigir suficiente material PET hacia la planta de filamento, asegurando el suministro inicial del proyecto.

¿Qué piensas sobre la posibilidad de fabricar cualquier objeto que imagines mediante la impresión 3D?

Figura 13 Interés en la manufactura aditiva

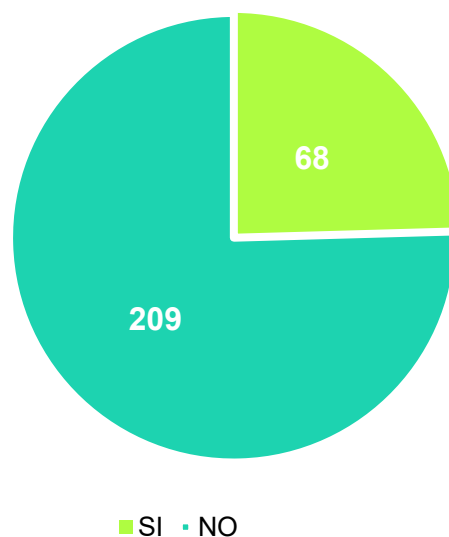


Fuente: Elaboración propia

El 72% de los encuestados (198 hogares) considera "geniales" las posibilidades de la impresión 3D, revelando una alta aceptación social que respalda el proyecto. Solo el 6% (18 personas) muestra desinterés, mientras que el 22% (61) lo ve interesante, pero sin aplicación inmediata. La percepción mayoritariamente positiva respalda la viabilidad comercial y social del proyecto.

¿Eres empresario o emprendedor?

Figura 14 Proporción de encuestados que son empresarios

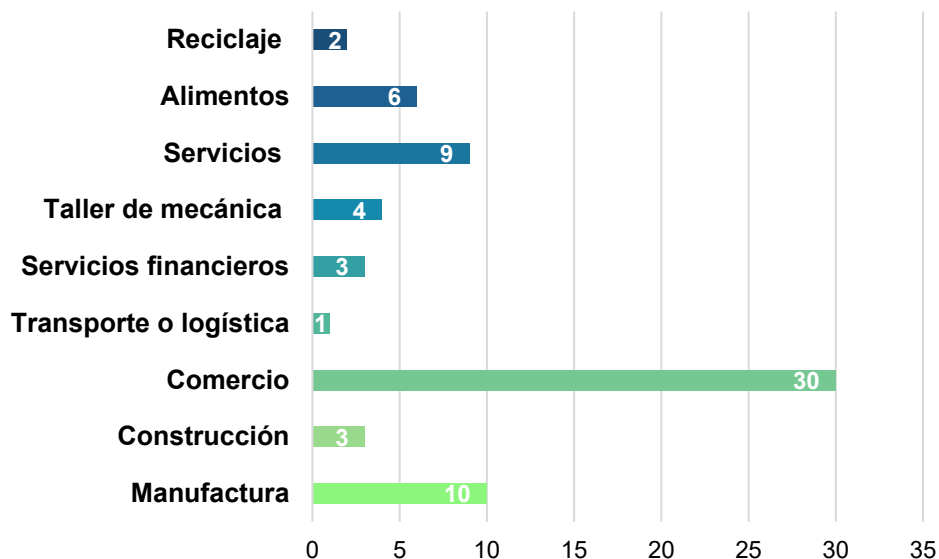


Fuente: Elaboración propia

La caracterización de un **24.5%** de empresarios o empresarios dentro de la muestra encuestada representa una **oportunidad estratégica** para el proyecto, dado su potencial rol dual como generadores de PET y posibles usuarios del filamento reciclado.

¿Qué tipo de actividades realiza tu empresa?

Figura 15 Sectores económicos de los empresarios

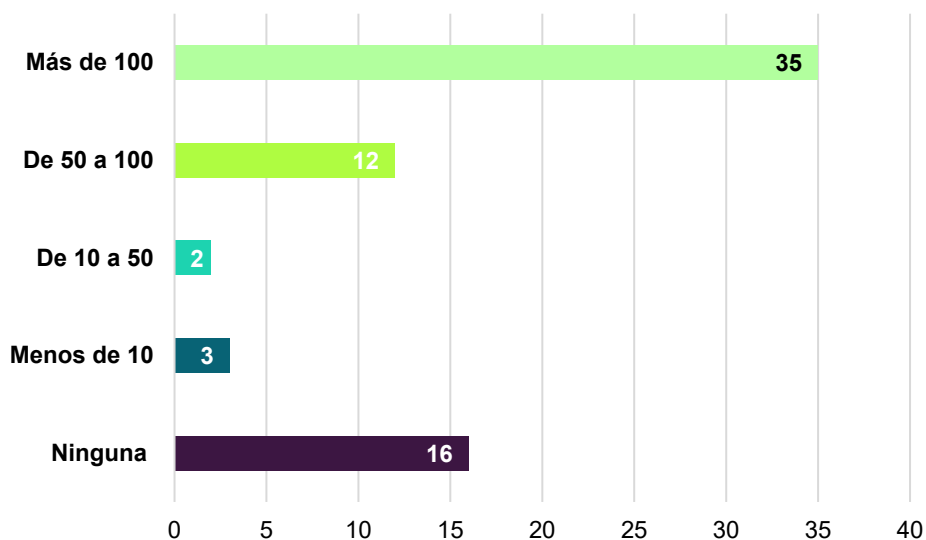


Fuente: Elaboración propia

La distribución sectorial de los empresarios encuestados refleja una fuerte presencia de los sectores manufactura y comercio, lo cual indica que las soluciones relacionadas con impresión 3D tienen un **alto potencial** de adopción en contextos productivos y comerciales locales. Aunque el sector reciclaje tiene una participación menor, su aparición dentro de la muestra valida la importancia de incorporar estrategias de economía circular. En este sentido, el proyecto de fabricación de filamento 3D a partir de PET reciclado se posiciona como una propuesta viable y pertinente, con capacidad de formar un impacto tanto en los sectores predominantes como en aquellos emergentes orientados a la sostenibilidad.

¿Cuántas botellas plásticas estimas que se desechan en tu negocio por semana?

Figura 16 Cantidad estimada de botellas desechadas por empresa en una semana

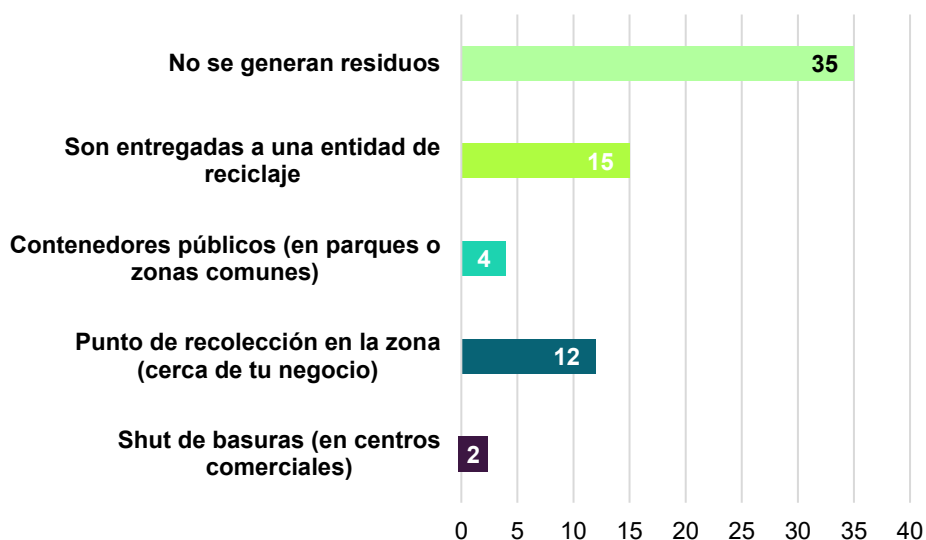


Fuente: Elaboración propia

Del total de empresarios encuestados, más del 68% (47 de 68) declaró desechos semanalmente más de 50 botellas plásticas, lo que evidencia una alta generación potencial de PET en sus actividades. Este hallazgo fortalece la idea de una posible articulación con el proyecto, ya sea como proveedores de materia prima o como actores interesados en estrategias de aprovechamiento de residuos.

¿Dónde acostumbras a desechar las botellas plásticas?

Figura 17 Distribución de desechos plásticos de empresas según el lugar de disposición

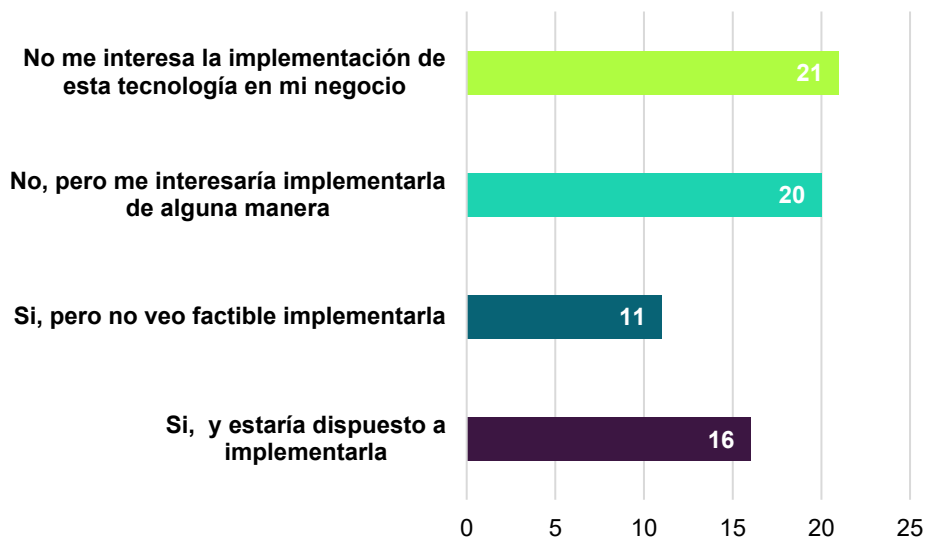


Fuente: Elaboración propia

Con estos datos se pueden evidenciar **tres patrones** en el manejo de residuos plásticos por parte de las empresas encuestadas. En primer lugar, el **51%** afirma no generar botellas plásticas, lo cual podría estar relacionado con el uso de materiales alternativos o procesos limpios. En segundo lugar, el **22%** gestiona estos residuos mediante recicladores formales, lo que indica un compromiso con la economía circular. Finalmente, un **18%** adicional dispone las botellas en puntos cercanos a sus negocios. En conjunto, estos datos revelan que por lo menos un **40%** de las empresas ya participa en esquemas de recolección selectiva, lo que representa una base consistente para asegurar la disposición inicial de materia prima reciclada y para establecer alianzas estratégicas con actores del sistema de recolección, proporcionando así un abastecimiento sostenible de PET para la planta de filamento.

¿Ves alguna implementación de la impresión 3D en tu negocio?

Figura 18 Nivel de interés en la impresión 3D por parte de las empresas



Fuente: Elaboración propia

A pesar de que una parte significativa de los encuestados no identifica una implementación clara de la impresión 3D en sus negocios, la mayoría manifiesta un interés en esta tecnología. Sumando quienes están interesados en implementarla de alguna manera (20 personas), quienes ven su potencial, aunque no la consideren factible actualmente (11 personas), y quienes estarían dispuestos a adoptarla (16 personas), se evidencia que 47 de los 68 encuestados (casi el **70%**) muestran una actitud **positiva** hacia la impresión 3D.

¿Qué tipo de implementación consideras adecuada para tu negocio?

Las respuestas obtenidas a la pregunta sobre el tipo de implementación considerada adecuada para cada negocio fueron catalogadas en tres clases principales, de acuerdo con su enfoque. La categoría "**Fabricación de productos especializados**" representa el **64%** de las respuestas e incluye propuestas concretas como la fabricación de marcos para gafas, carretes para costura, fundas para celular, accesorios para joyería, cosmetiqueras, piezas técnicas y herramientas, lo que evidencia un enfoque en la manufactura personalizada y en nichos de mercado con alto potencial. En segundo lugar, la categoría "**Servicios de impresión y manufactura digital**", con un **21%**, agrupa opciones centradas en la prestación de servicios de impresión 3D, como figuras decorativas, llaveros o impresión bajo demanda en papelerías, lo cual refleja una demanda creciente por soluciones digitales flexibles y personalizadas. Finalmente, el **14%** de las respuestas corresponde a la categoría "**Sostenibilidad y economía circular**", que envuelve iniciativas orientadas al uso de materiales reciclables y a la reducción de impactos ambientales, mostrando una conciencia ambiental emergente dentro del sector. Esta categorización posibilita comprender las **prioridades** de los empresarios frente al uso de la impresión 3D.

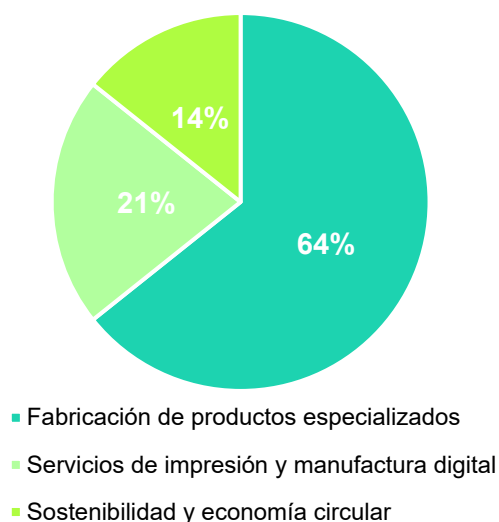
Tabla 4 Potenciales aplicaciones de la impresión 3D en el ámbito empresarial

Respuestas	Categoría
Fabricar marcos para gafas	Fabricación de productos especializados
Carretes para los hilos de las máquinas de coser, porta agujas entre otros	Fabricación de productos especializados
fabricación de piezas y herramientas	Fabricación de productos especializados
Fabricación de fundas para celular	Fabricación de productos especializados

fabricar accesorios o mostradores para joyería	Fabricación de productos especializados
Fabricar cosmetiqueras de regalo	Fabricación de productos especializados
fabricación de piezas, accesorios y herramientas	Fabricación de productos especializados
vender productos impresos en 3d	Fabricación de productos especializados
imprimir figuras o decoraciones para vender	Fabricación de productos especializados
ofrecer el servicio de impresión	Servicios de impresión y manufactura digital
ofrecer el servicio de impresión en mi papelera	Servicios de impresión y manufactura digital
Impresión de llaveros, figuras, etc.	Servicios de impresión y manufactura digital
Que tomen en cuenta los materiales reciclables para un buen beneficio	Sostenibilidad y economía circular
Reducir los impactos ambientales de los desechos plásticos de mi negocio	Sostenibilidad y economía circular

Fuente: Elaboración propia

Figura 19 Proporción de aplicaciones potenciales según categoría



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, los resultados de esta pregunta muestran que la mayoría de los empresarios ven en la impresión 3D una oportunidad para la fabricación de productos especializados, destacando su potencial en nichos de mercado y manufactura personalizada. También se evidencia interés en su uso como servicio de impresión bajo demanda, así como una creciente preocupación por la sostenibilidad, especialmente en el uso de materiales reciclables. Este panorama es favorable para iniciativas como la de esta investigación, que busca impulsar la fabricación de filamento 3D a partir de PET reciclado, adoptando innovación tecnológica.

¿Cuál es la razón por la que consideras inviable la implementación de la impresión 3D en tu negocio?

Las respuestas obtenidas a la pregunta sobre el tipo de limitaciones por las cuales no implementaría la impresión 3D en su negocio fueron organizadas en tres categorías temáticas con el fin de identificar patrones y comprender mejor las barreras que identifican los encuestados. La primera categoría, **Baja percepción de aplicabilidad o demanda**, representa el 48% de las respuestas, en las que las personas consideran que la impresión 3D no se ajusta a su modelo de negocio o no tiene demanda suficiente. Esta fue la categoría con más respuestas, lo cual sugiere que muchas personas no logran identificar aplicaciones prácticas de esta tecnología en su contexto empresarial, ya sea por el tipo de productos o servicios que ofrecen o por una visión limitada del potencial de la impresión 3D. La segunda categoría, **Desconocimiento o falta de capacitación**, representa el 28% de las respuestas, relacionadas con la falta de conocimientos técnicos para operar una impresora 3D o para estimar sus costos y beneficios. Evidenciando una brecha formativa importante que limita la apropiación de esta tecnología. La tercera categoría, **Falta de recursos (económicos o de tiempo)**, representa el 24% restante agrupando respuestas que mencionan limitaciones como la falta de dinero, tiempo o ambos. revelando una barrera que puede afectar especialmente a pequeños emprendedores.

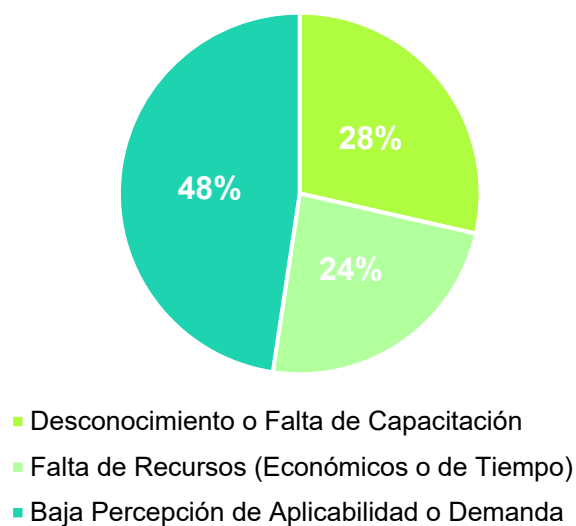
Tabla 5 Barreras para la implementación de la impresión 3D en entornos empresariales

Respuestas	Categoría
Lo veo poco resistente comparado con el metal	Baja Percepción de Aplicabilidad o Demanda
Costos, desconocimiento y recibimiento del público	Baja Percepción de Aplicabilidad o Demanda
No veo una implementación en una cafetería	Baja Percepción de Aplicabilidad o Demanda
Pocas implementaciones, posible rentabilidad nula	Baja Percepción de Aplicabilidad o Demanda
Trabajo a domicilio	Baja Percepción de Aplicabilidad o Demanda
No sé si las personas estarían interesadas o necesitan este servicio	Baja Percepción de Aplicabilidad o Demanda
Tal vez el tipo de servicios que presto no se relaciona con el tema de impresión en 3d	Baja Percepción de Aplicabilidad o Demanda
Poco interés de las personas	Baja Percepción de Aplicabilidad o Demanda
Costos, desconocimiento e incertidumbre	Baja Percepción de Aplicabilidad o Demanda
No veo implementación en una tienda comercial	Baja Percepción de Aplicabilidad o Demanda
Falta de conocimiento y altos costos	Desconocimiento o Falta de Capacitación
Falta de conocimiento	Desconocimiento o Falta de Capacitación
No sé nada sobre cómo manejar una impresora 3d	Desconocimiento o Falta de Capacitación
No sé cómo se utiliza una impresora	Desconocimiento o Falta de Capacitación

falta de capacitación y saber cómo estimar costos	Desconocimiento o Falta de Capacitación
No sé manejar una impresora	Desconocimiento o Falta de Capacitación
falta de recursos	Falta de Recursos (Económicos o de Tiempo)
falta de tiempo y conocimiento	Falta de Recursos (Económicos o de Tiempo)
Falta de recursos económicos	Falta de Recursos (Económicos o de Tiempo)
falta de tiempo	Falta de Recursos (Económicos o de Tiempo)
Economía, y no sabría que ofrecer o como sacarle el provecho en mi negocio	Falta de Recursos (Económicos o de Tiempo)

Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Proporción de limitaciones según categoría

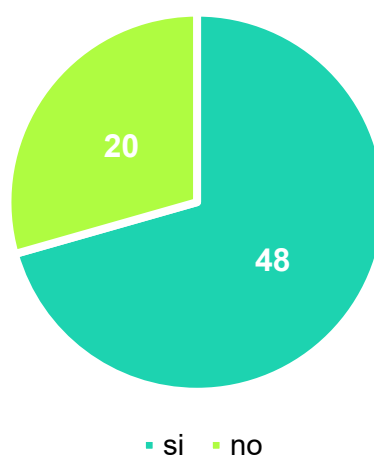


Fuente: Elaboración propia

En conjunto, el análisis muestra que la baja adopción de la impresión 3D no se debe a un solo factor, sino a una combinación de percepción, conocimiento y recursos, lo cual sugiere que cualquier estrategia de implementación deberá abordar estos tres frentes de forma integrada.

¿Estarías dispuesto a invertir en una impresora 3d si esta te llega a representar un beneficio económico?

Figura 21 Disposición a invertir en una impresora 3D ante la promesa de un beneficio económico

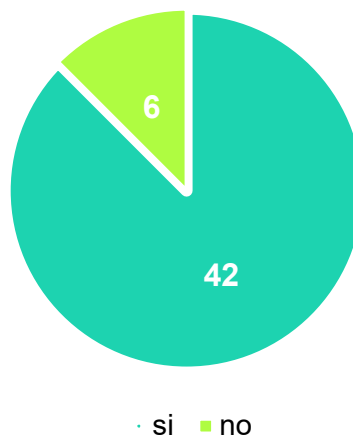


Fuente: Elaboración propia

El 70.6% de los encuestados (48 empresarios) manifestaron la disposición a invertir en impresoras 3D al asociarlas con beneficios económicos. Estos resultados indican un interés significativo en la tecnología, lo que sugiere una oportunidad potencial para vincular su adopción con el uso de filamentos reciclados.

¿Valorarías que los insumos utilizados en la impresión 3D sean fabricados a partir de plásticos posconsumo?

Figura 22 Percepción sobre el uso de plásticos posconsumo en impresión 3D



Fuente: Elaboración propia

Con 87.5% de aceptación entre los encuestados (42/48). La preferencia por alternativas sostenibles señala que los empresarios encuestados estarían dispuestos a adoptar prácticas de economía circular, minimizando sus residuos.

8.2. Fase II: Diseño de planta y procesos de producción

8.2.1. Requerimiento de equipos

Introducción

El diseño de una planta para la fabricación de filamento de impresión 3D a partir de PET reciclado requiere un análisis detallado que abarque diversos aspectos técnicos y operativos. Uno de los elementos clave en este proceso es la caracterización de la maquinaria necesaria, incluyendo equipos para la clasificación, limpieza, extrusión y bobinado del material reciclado. Esta

caracterización permite determinar las especificaciones técnicas, capacidades y requerimientos energéticos de cada equipo, asegurando su compatibilidad con el proceso propuesto. Asimismo, es fundamental el desarrollo de un diagrama de flujo de procesos, que describa de manera clara y estructurada cada etapa involucrada, desde el manejo de la materia prima hasta la obtención del producto final. Estos componentes son esenciales para formular una propuesta preliminar que combine eficiencia operativa, sostenibilidad y viabilidad técnica.

Caracterización de equipos

El proceso de fabricación de filamento para impresión 3D a partir de PET reciclado se divide en tres fases principales: la preparación del material, el proceso de extrusión propiamente dicho y el empaclado final del filamento. La **primera fase**, correspondiente a el acondicionamiento del material, abarca una serie de etapas destinadas a preparar el PET reciclado para su posterior transformación. Estas etapas incluyen la recolección y clasificación del material para separar el PET de otros tipos de plásticos y categorizarlo por colores, ya que entre sí no se pueden mezclar, seguido de un proceso donde el PET es triturado en forma de hojuelas para su posterior limpieza para eliminar impurezas como etiquetas, residuos orgánicos y contaminantes. Una vez limpio es sometido a un proceso de secado para reducir el contenido de humedad, evitando defectos en la extrusión. Esta fase es crucial, ya que garantiza la calidad y homogeneidad de la materia prima, aspectos fundamentales para obtener un filamento de alta calidad.

La **segunda fase** es el proceso de extrusión, en el cual el PET preparado es introducido en una máquina extrusora. Dentro de la extrusora, el material es fundido mediante la aplicación de calor y presión, y posteriormente se fuerza a través de una boquilla con el diámetro deseado para el filamento. El material extruido es enfriado y solidificado, generalmente mediante un sistema de enfriamiento por agua, y finalmente enrollado en bobinas.

La **tercera** y última **fase** del proceso de producción del filamento es el embalaje al vacío de los rollos de filamento extruidos. Este paso es esencial para mantener la calidad del filamento y garantizar su rendimiento óptimo en el almacenamiento y distribución. El filamento PET es higroscópico, lo que significa que puede absorber la humedad del ambiente, lo que afecta negativamente la calidad de impresión. El sellado al vacío descarta la presencia de aire y humedad, para que llegue al usuario final en circunstancias ideales.

Teniendo esos 3 aspectos en cuenta, para la **selección** de los **equipos** se realizó una búsqueda en diferentes canales de venta, tanto en plataformas web como mediante contacto directo con proveedores. Se logró establecer comunicación con cinco proveedores, pero solo tres de ellos ofrecieron información técnica completa y accesible sin requerir el registro como empresa. En consecuencia, se seleccionó a *Aceretech* para el proceso de acondicionamiento del material, a *GSmach* para el proceso de extrusión del filamento, y para la fase correspondiente al empaque del filamento, se eligió por la empacadora al vacío DZ500 **VacMax** distribuida por Machineshg. Esta máquina fue seleccionada por su capacidad de realizar un sellado al vacío eficiente, protegiendo el filamento de la humedad y otros contaminantes. Finalmente se optó por esta **maquinaria** puesto que los proveedores ofrecen estos equipos especializados para cada etapa y facilitaron el acceso a especificaciones detalladas, permitiendo así una evaluación más precisa y adecuada para los objetivos del proyecto.

Equipos necesarios para la fase de acondicionamiento de material

- ***Línea de lavado, trituración, lavado, secado y reciclaje de botellas de plástico PET con eliminación de etiquetas***

La línea *AWTS Plastic Recycling Washing Line* está diseñada para el procesamiento inicial de botellas PET posconsumo, con el objetivo de acondicionarlas como materia prima reciclada idónea para procesos de transformación posteriores, como la extrusión de filamento para impresión 3D.

Este ciclo se divide en **cuatro módulos** principales: **limpieza previa, trituración, lavado, secado y almacenamiento** del material, cada uno con funciones específicas encargadas de maximizar la eficiencia del reciclaje y la calidad del producto final, además el diseño modular de esta línea permite una operación continua y automatizada.

En términos generales, las botellas PET recolectadas son primero trituradas para reducir su tamaño, luego lavadas en varias etapas para descartar contaminantes físicos y químicos, a continuación, se secan para reducir la humedad a niveles compatibles con procesos térmicos y finalmente trasladadas entre módulos por medio de sistemas automatizados que facilitan una fluidez del proceso sin pérdida de calidad ni tampoco contaminación cruzada.

Cabe destacar que esta línea de producción tiene una capacidad de procesamiento de hasta 500 kg por hora, con una inversión estimada de 8950 euros EU, equivalentes a aproximadamente 43 millones de pesos colombianos COP (sin incluir costos logísticos por la importación desde Suzhou, China).

Figura 23 Línea de lavado para plástico PET



Fuente: Recuperado de: ACEWASHTECH Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line with European Design (n.d.)

Tolva de alimentación:

La función de la cinta transportadora en forma de L es transportar de forma continua y segura las escamas de PET trituradas al siguiente módulo de proceso (etapa de limpieza). Su diseño en forma de L facilita el transporte inclinado, adaptándose a diferentes alturas de equipos. Incluye placas de sellado traseras y sistemas de retención laterales que evitan que el material se derrame, garantizando un funcionamiento limpio y eficiente. Además, cuenta con rodamientos protegidos, que aumentan su vida útil y mejoran su rendimiento en condiciones de operación exigentes.

Figura 24 Referencia tolva de alimentación



Fuente: Recuperado de: ACEWASHTECH Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line with European Design (n.d.)

Cinta de transporte y separación magnética:

Es el punto de partida del proceso de reciclaje. Su diseño permite alimentar las botellas de PET de forma automatizada, regulada y sin obstrucciones.

Esta fase se realiza mediante una cinta separadora magnética integrada en la cinta transportadora, que permite la eliminación de materiales ferrosos presentes en los residuos plásticos recogidos, como clips, grapas, tapones metálicos o partículas adheridas al PET

Dependiendo de las necesidades operativas, el equipo puede configurarse con:

- **Sistema de detección de metales:**

- *Detector electromagnético central:*

Al detectar metales, emite una alarma y detiene la banda automáticamente. Es necesario reiniciar manualmente tras remover el objeto.

- *Rodillo magnético superior:*

Extrae metales ferrosos durante el trayecto, depositándolos en un colector lateral sin detener el flujo de trabajo. Ideal para operaciones continuas.

Figura 25 Referencia de cinta transportadora de entrada



Fuente: Recuperado de: ACEWASHTECH Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line with European Design (n.d.)

Pre-lavadora:

El prelavado elimina las impurezas más gruesas, las etiquetas y los residuos adheridos al PET antes de triturarlo. El equipo está diseñado según las propiedades y características del material:

- Caja de ángulo amplio que facilita el deslizamiento y la recogida de impurezas en el fondo del tanque.
- Sistema de transporte de aire que impulsa el PET a la superficie del agua para un avance más rápido y uniforme.
- Se inyecta aire comprimido desde abajo, lo que genera burbujas que agitan el material y mejoran la limpieza.

Figura 26 Referencia Pre-lavadora



Fuente: Recuperado de: ACEWASHTECH Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line with European Design (n.d.)

Desfibradora:

Está diseñada para reducir el tamaño de las botellas de PET posconsumo, transformándolas en escamas de plástico de tamaño uniforme, aptas para su posterior limpieza y secado. Esta máquina está equipada con un sistema de cuchillas de alta dureza (DC53) y un eje de cuchillas antivuelco, lo que permite un funcionamiento eficiente incluso con materiales blandos o con residuos de etiquetas y tapones. Además, el empujador de brazo oscilante ajusta la presión y la alimentación de material según la carga de trabajo, optimizando su rendimiento. Este paso es esencial para facilitar la descontaminación y garantizar un flujo continuo en la línea de reciclaje.

Figura 27 Referencia de desfibradora de plástico



Fuente: Recuperado de: ACEWASHTECH Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line with European Design (n.d.)

Trituradora:

En esta etapa, el PET prelavado se reduce a escamas mediante una trituradora húmeda, lo que mejora el sellado y reduce la generación de polvo

Características principales:

- Modelos con 3, 5 o 7 pinzas, adaptables según tipo de material y capacidad requerida.
- Sistema de seguridad con sensores: la máquina se detiene automáticamente si se abre la caja o la pantalla.
- Dispositivo antivibración con diseño resistente al desgaste, que reduce el ruido y mejora la estabilidad del equipo.

Figura 28 Referencia trituradora de plástico



Fuente: Recuperado de: ACEWASHTECH Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line with European Design (n.d.)

Lavadora por fricción:

Este proceso elimina los residuos adheridos al PET mediante fricción de alta velocidad.

Características principales:

- Eje principal fabricado en tubo sin costura de 16 mm, resistente y duradero.
- Cuchillas extraíbles de 10 mm, fáciles de reemplazar y mantener.
- Equilibrado dinámico que reduce las vibraciones: el peso en los extremos del eje no supera los 10 g.
- Mueble de acero inoxidable con acabado arenado para una mayor durabilidad.

Figura 29 Referencia lavadora por fricción



Fuente: Recuperado de: ACEWASHTECH Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line with European Design (n.d.)

Lavadora flotante:

En esta etapa se separan los materiales por densidad y se eliminan los residuos ligeros como las etiquetas de las botellas en el PET triturado.

Características principales:

- Pulsadores con motor independiente y convertidor de frecuencia, que permiten ajustar la velocidad y controlar el flujo de material.

- Diferentes diseños estructurales, seleccionados dependiendo del tipo de plástico a procesar
- Una caja de gran ángulo, que facilita la separación del PET flotante y las impurezas que se hunden.
- Hecho de acero inoxidable 304, resistente a la corrosión y duradero.

Figura 30 Referencia lavadora flotante



Fuente: Recuperado de: ACEWASHTECH Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line with European Design (n.d.)

Secadora:

El sistema de secado reduce el contenido de humedad del PET triturado al 5%, haciéndolo adecuado para el proceso de extrusión.

Componentes del sistema:

- Secador de compresión, deshidratador y secador de tubos en línea.
- Eje secador fabricado en tubo sin costura de 16 mm, resistente y duradero.
- Cuchillas extraíbles de 10 mm para un fácil mantenimiento
- Malla exterior de acero inoxidable de 3 mm, con orificios de 2-3 mm, resistente al desgaste.

- Equilibrado dinámicamente para evitar vibraciones, con un peso máximo en los extremos del eje de menos de 10 g.

Figura 31 Referencia secadora



Fuente: Recuperado de: ACEWASHTECH Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line with European Design (n.d.)

Silo de almacenamiento:

El silo almacena PET seco antes de la extrusión, variando según el tipo de material a procesado.

Características principales:

- Diseño según el tipo de material: los materiales blandos requieren un mayor volumen y un mezclador para evitar aglomeraciones; Los materiales duros solo requieren una rotación rápida.
- Equipado con un sistema de desgasificación, que elimina impurezas residuales y gases atrapados.

Figura 32 Referencia silo de almacenaje



Fuente: Recuperado de: ACEWASHTECH Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line with European Design (n.d.)

- ***Equipos necesarios para la fase de fabricación del filamento***

Planta de fabricación de filamento de impresión 3D:

La **línea de extrusión de filamento para impresión 3D GS50**, fabricada por **GSmach**, es un equipo especializado en la producción de filamento para impresoras 3D. Esta máquina está diseñada para procesar materiales como **PETG, ABS y PLA**, y posee una capacidad de producción que oscila entre **18 kg/h y 25 kg/h**.

El filamento producido tiene un diámetro estándar de **1,75 mm**, con una tolerancia que varía entre 0,03 mm y 0,02 mm, lo cual cumple con los estándares industriales de precisión.

El proceso de fabricación se desarrolla en cuatro fases principales:

1. Abastecimiento de la materia prima mediante tolva.
2. Extrusión del material fundido.
3. Enfriamiento del filamento.
4. Embobinado automático en carretes.

Una de las principales ventajas de este equipo es su alto grado de **automatización**, que permite operar con una mínima intervención humana. Una vez cargada la materia prima, la máquina elabora de forma autónoma todo el proceso de extrusión. La intervención del operario es únicamente requerida al final de la línea, para la sustitución manual de carretes durante la etapa de embobinado.

El costo estimado de esta línea de extrusión es de **30.000 dólares** estadounidenses (USD), equivalentes a aproximadamente **127.000.000 pesos** colombianos (COP) (sin incluir costos logísticos ni arancelarios por la importación desde Nanjing, China).

Figura 33 Referencia planta de fabricación de filamento



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

Procesos necesarios:

Figura 34 Partes de planta de fabricación de filamento



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

- **Mezclador de material:** Mezcla de manera uniforme el polímero base (escamas PET) y aditivos para una composición uniforme.

Figura 35 Referencia mezclador de material



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

Cargador de material por vacío: Equipo encargado de alimentar la materia prima aspirando las escamas plásticas para depositarlas al interior de la tolva secadora. Garantizando un suministro continuo y uniforme a toda la línea de extrusión.

Figura 36 Referencia cargador de material por vacío



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

Tolva secadora: Dispositivo que elimina la humedad de las escamas plásticas mediante un flujo controlado de aire caliente, mejorando la calidad del material y evitando defectos en el filamento final.

Figura 37 Referencia de tolva secadora



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

Extrusora de un solo tornillo: Máquina que calienta, funde y mezcla el material plástico antes de extruirlo empleando un único tornillo que permite un flujo constante del polímero a través a través de la boquilla de extrusión, componente encargado de dar forma al filamento, forzando el material fundido a pasar por una abertura de diámetro ligeramente mayor al estándar (1,75 mm). Durante el proceso de fabricación, el filamento aún conserva una temperatura media que lo mantiene maleable, lo que permite que, al ser estirado por el motor tractor, reduzca progresivamente su diámetro hasta alcanzar la medida óptima.

Figura 38 Referencia de extrusora de un solo tornillo

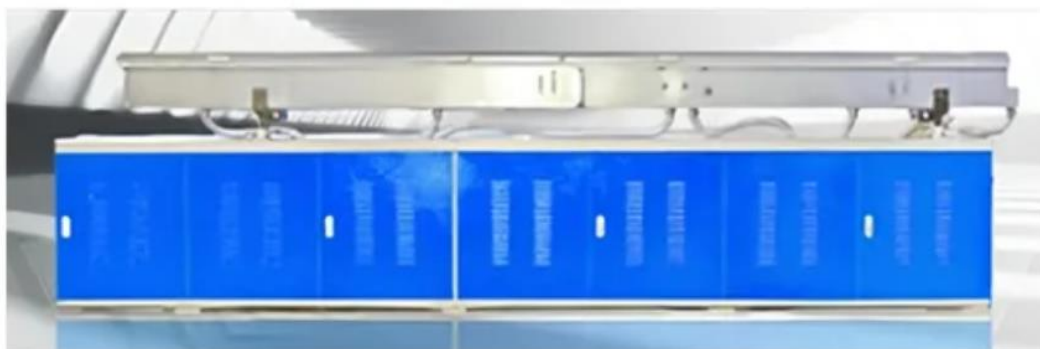


Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

Tanques de enfriamiento (agua caliente y fría): Equipos utilizados para solidificar el filamento extruido. El tanque de agua caliente permite un enfriamiento gradual inicial, mientras que los tanques de agua fría completan el proceso para obtener una estructura sólida y uniforme, estas temperaturas varían según el tipo de material a trabajar y son seteadas por el personal de instalación del equipo.

Equipos utilizados para solidificar el filamento extruido. El tanque de agua caliente permite un enfriamiento gradual inicial, mientras que los tanques de agua fría completan el proceso para obtener una estructura sólida y uniforme, estas temperaturas varían según el tipo de material a trabajar y son seteadas por el personal de instalación del equipo.

Figura 39 Referencia tanques de enfriamiento



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

Sensor láser para el control de calidad de diámetro: Sistema de medición de alta precisión en dos ejes que asegura que el filamento cumple con el diámetro especificado, detectando y corrigiendo desviaciones en tiempo real durante la producción.

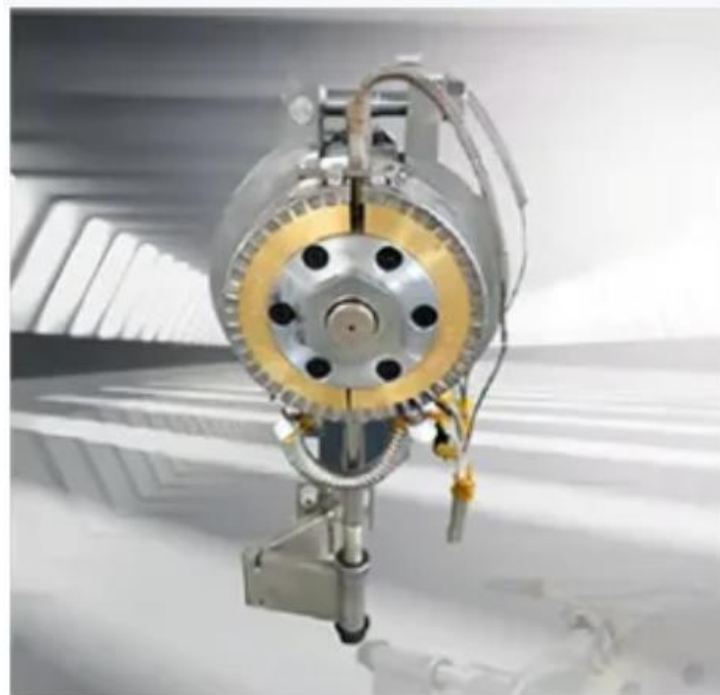
Figura 40 Referencia sensor láser



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

Máquina tractora: Dispositivo encargado de arrastrar el filamento recién formado de manera uniforme y controlada, asegurando el grosor adecuado y evitando tensiones excesivas.

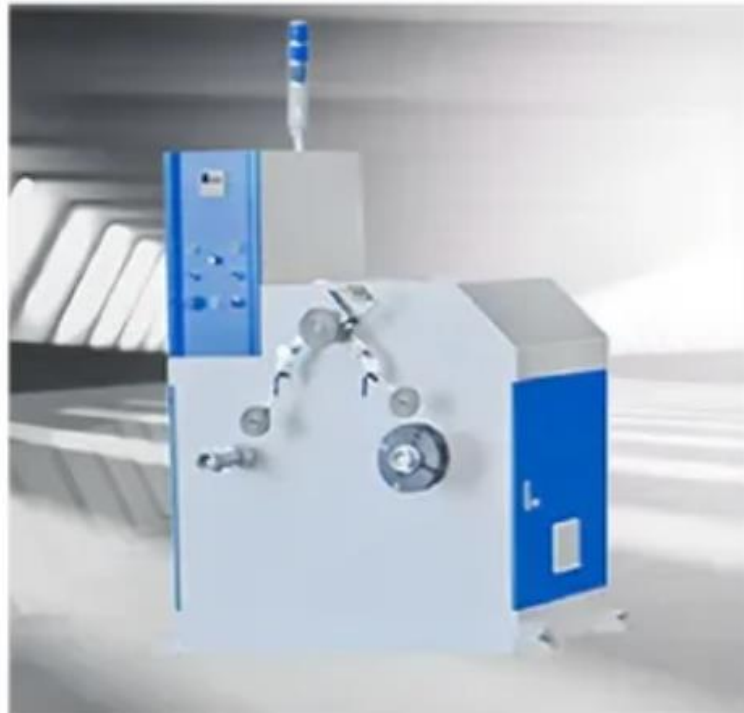
Figura 41 Referencia Máquina tractora



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

Embobinador: Máquina que enrolla el filamento terminado en carretes, preparándolo para su almacenamiento y distribución. Asegura un bobinado ordenado y sin enredos, esta fase requiere del cambio de carrete a bobinar de manera manual.

Figura 42 Referencia embobinador



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

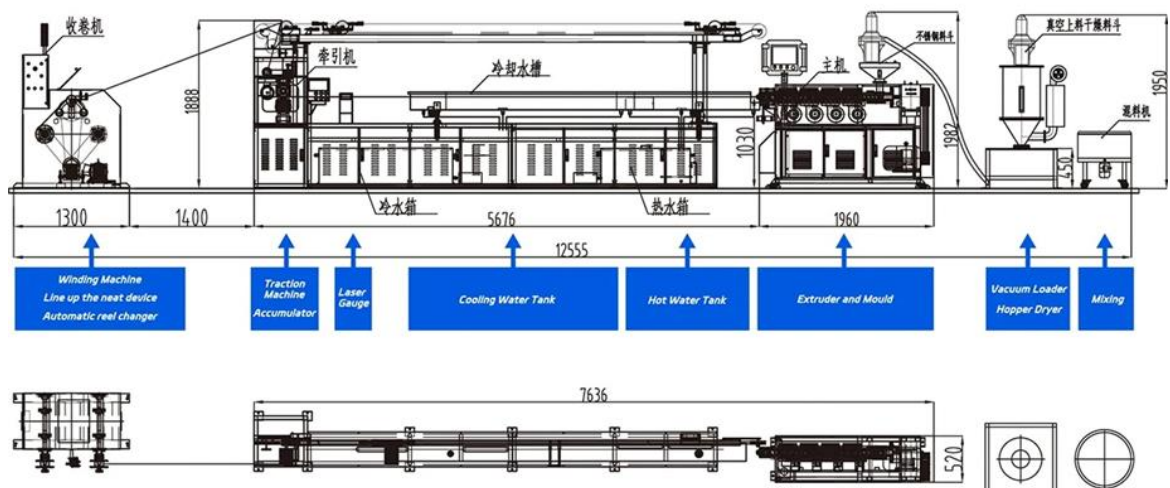
- **Acumulador:** Equipo que almacena temporalmente el material excedente generado durante el proceso de embobinado, permitiendo que la producción continúe sin interrupciones mientras se ajusta el nuevo carrete en el embobinador.

Figura 43 Referencia acumulador de filamento



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

Figura 44 Dimensiones planta de fabricación de filamento



Fuente: Recuperado de 3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine - GSmach (n.d.)

- **Equipo necesario para la fase de embalaje del filamento**

Selladora al vacío DZ500 VacMax

Comercializada en Colombia por la empresa Machineshg.

Tiene un precio aproximado de COP \$4.500.000, esta máquina brinda características técnicas que la hacen compatible con las necesidades del empaquetado del filamento.

Sella al vacío productos (en este caso paquetes de filamento por 1 kg), protegiéndolas de la humedad y el polvo. Con una capacidad de envasado de hasta 30 rollos por hora, se adapta perfectamente a la producción de una extrusora estándar, garantizando un embalaje seguro listo para su distribución o almacenamiento.

Figura 45 Referencia máquina empacadora al vacío

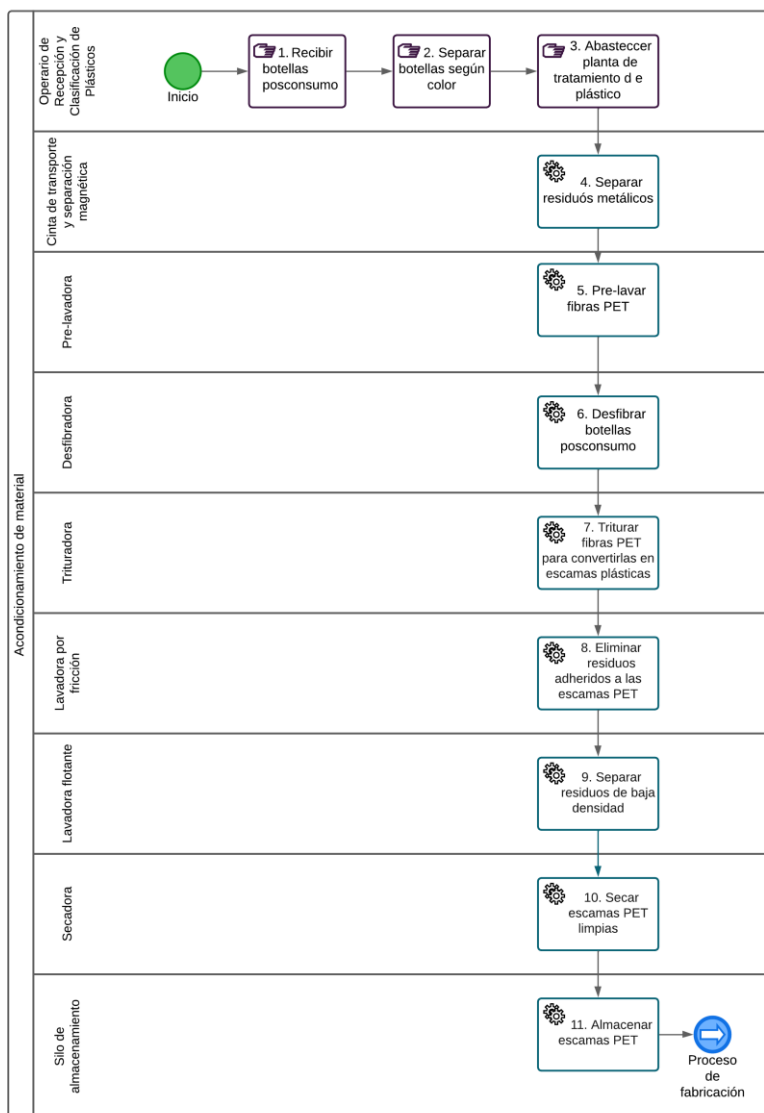


Fuente: Recuperado de Empacadora al Vacío DZ500 Ref:DZ500P-2C – Machineshg (n.d.)

8.2.2. Diseño de diagrama de flujo de procesos

Flujo de procesos para el proceso de acondicionamiento de material

Figura 46 Diagrama de flujo de procesos: Acondicionamiento de material



Fuente: Elaboración propia

1. Recibir botellas posconsumo

Responsable: Operario de recepción y clasificación de plásticos

- 1.1. Pesar la carga recibida para su registro.
- 1.2. Realizar inspección visual para detectar residuos no PET o materiales contaminantes.
- 1.3. Registrar ingreso de materia prima en el sistema (ERP).
- 1.4. Descargar y almacenar temporalmente las botellas en zona de clasificación.

2. Separar botellas según color

Responsable: Operario de recepción y clasificación de plásticos

- 2.1. Clasificar manualmente por color (transparente, verde, ámbar, etc.).
- 2.2. Apartar botellas dañadas, sucias o no aptas.
- 2.3. Acomodar botellas clasificadas en contenedores específicos para cada color.

3. Abastecer planta de tratamiento de plástico

Responsable: Operario de recepción y clasificación de plásticos

- 3.1. Transportar botellas clasificadas desde el área de almacenamiento temporal a la tolva de alimentación de la línea de lavado de plástico.
- 3.2. Abastecer la línea de lavado de plástico con las botellas clasificadas por color

Nota: sólo se debe abastecer un color a la vez

4. Separar residuos metálicos

Responsable: Cinta de transporte y separación magnética

- 4.1. Pasar fibras PET por cinta con imán de alta potencia.
- 4.2. Retirar clips, tapas metálicas, grapas u otros residuos ferrosos.
- 4.3. Depositar los residuos metálicos en contenedor específico.

5. Pre-lavar fibras PET

Responsable: Pre-lavadora

- 5.1. Introducir botellas en tanque de lavado con agua y jabón.
- 5.2. Centrifugar para desprender tierra, polvo y residuos orgánicos superficiales.
- 5.3. Transferir material a la trituradora.

6. Desfibrar botellas posconsumo

Responsable: Máquina desfibradora

- 6.1. Romper mecánicamente las botellas para reducir su tamaño.
- 6.3. Transferir fibras al área de triturado.

7. Triturar fibras PET para convertirlas en escamas plásticas

Responsable: Trituradora

- 7.1. Alimentar trituradora con fibras pre-lavadas y desfibradas.
- 7.2. triturar fibras para convertirlas en escamas (generalmente 8-12 mm).
- 7.3. Recolectar escamas en contenedores plásticos para lavado por fricción.

8. Eliminar residuos adheridos a las escamas PET

Responsable: Lavadora por Fricción

- 8.1. Introducir escamas PET en la tolva de alimentación de la lavadora por fricción.
- 8.2. Generar fricción al empujar las escamas contra una malla cilíndrica mediante fuerza centrífuga.
- 8.4. Desprender contaminantes como adhesivos, etiquetas, restos orgánicos y polvo mediante la fricción entre las escamas y la malla.
- 8.5. Rociar agua constantemente durante el proceso para arrastrar impurezas sueltas y facilitar la limpieza.

9. Separar residuos de baja densidad

Responsable: lavadora flotante

- 9.1. Verter escamas PET previamente lavadas en el tanque de separación flotante.
- 9.3. Someter el conjunto de escamas a una leve corriente de aire que separe los residuos menos densos como etiquetas de las escamas PET
- 9.7. Transportar las escamas separadas hacia la secadora para continuar el proceso.

10. Secar escamas PET limpias

Responsable: Secadora

- 10.1. Introducir escamas en secadora de aire caliente.
- 10.2. Controlar temperatura para evitar deformaciones.
- 10.3. Medir humedad residual y asegurar que esté dentro del rango aceptado (<0.5%).
- 10.4. Enfriar escamas antes de almacenamiento.

11. Almacenar escamas PET

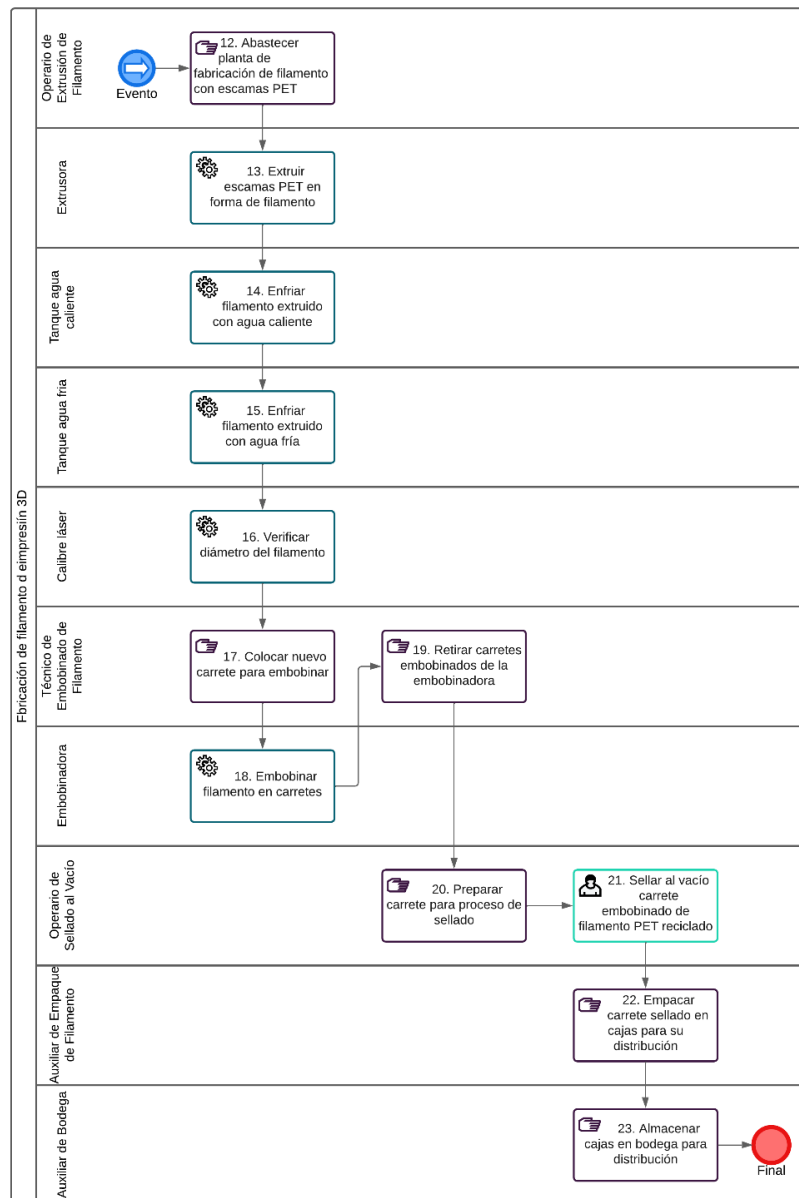
Responsable: Silo de Almacenamiento

11.1. Transportar escamas secas a silos.

11.2. Mantener condiciones de almacenamiento libre de humedad y contaminantes.

Flujo de procesos para el proceso de fabricación de filamento de impresión 3D

Figura 47 Diagrama de flujo de procesos: Fabricación de filamento de impresión 3D



Fuente: Elaboración propia

12. Abastecer planta de fabricación de filamento con escamas PET

Responsable: Operario de Extrusión de Filamento

- 12.1. Transportar escamas PET desde silo o almacenamiento a la tolva de la extrusora.
- 12.2. Verificar que las escamas estén secas y libres de contaminantes.
- 12.3. Cargar la cantidad adecuada de escamas en función del lote de producción.
- 12.4. Registrar el inicio de la operación en el sistema.

13. Extruir escamas PET en forma de filamento

Responsable: Extrusora

- 13.1. Fundir las escamas PET dentro del cilindro de extrusión mediante resistencias térmicas.
- 13.2. Forzar el paso del material fundido a través de una boquilla (die) para darle forma de filamento.
- 13.3. Controlar temperatura, presión y velocidad de extrusión.
- 13.4. Monitorear el flujo constante del filamento.

14. Enfriar filamento extruido con agua caliente

Responsable: Tanque agua caliente

- 14.1. Sumergir el filamento recién extruido en tanque con agua caliente (aproximadamente 60–80 °C).
- 14.2. Controlar nivel y temperatura del agua constantemente.

15. Enfriar filamento extruido con agua fría

Responsable: Tanque agua fría

- 15.1. Transferir el filamento al tanque de agua fría (15–20 °C).
- 15.2. Asegurar velocidad de paso adecuada para evitar tensiones o deformaciones.

16. Verificar diámetro del filamento

Responsable: Calibre Láser

- 16.1. Medir el diámetro del filamento en tiempo real mediante sensor láser.
- 16.2. Comparar las medidas con el estándar de tolerancia
- 16.3. Emitir alarmas si se detectan variaciones fuera de rango.
- 16.4. Registrar los datos de calidad de cada lote.

17. Colocar nuevo carrete para embobinar

Responsable: Técnico de Embobinado

- 17.1. Instalar carrete vacío en la embobinadora.
- 17.2. Asegurar que el eje gire libremente y esté alineado.
- 17.3. Sujetar la punta del filamento al carrete.

18. Embobinar filamento en carretes

Responsable: Embobinadora

- 18.1. Activar la embobinadora para enrollar el filamento de forma continua.
- 18.2. Controlar la cantidad de filamento por carrete (peso).

18.3. Cortar filamento al alcanzar el llenado deseado.

19. Retirar carretes embobinados de la embobinadora

Responsable: Técnico de Embobinado

19.1. Detener la máquina una vez finalizado el embobinado.

19.2. Retirar el carrete con cuidado.

19.3. Etiquetar el carrete con información del lote (fecha, tipo, medidas).

20. Preparar carrete para proceso de sellado

Responsable: Operador de Sellado al Vacío

20.1. Amarrar rollo de filamento al carrete con cinchos plásticos

20.2. Colocar el carrete en bolsa plástica especial para vacío.

20.3. Verificar que la bolsa esté en buenas condiciones y limpia.

20.4. Acomodar el filamento para que no se deforme en el empaque.

21. Sellar al vacío carrete embobinado de filamento PET reciclado

Responsable: Operador de Sellado al Vacío

21.1. Ingresar el carrete en la máquina de sellado.

21.2. Aplicar vacío para extraer el aire de la bolsa.

21.3. Realizar sellado térmico para cerrarla herméticamente.

21.4. Verificar integridad del sello y registrar el lote.

22. Empacar carrete sellado en cajas para su distribución

Responsable: Auxiliar de Empaque

22.1. Seleccionar caja adecuada según tamaño del carrete.

22.2. Incluir hoja de especificaciones técnicas del filamento.

22.3. Cerrar y etiquetar la caja con información del producto.

23. Almacenar cajas en bodega para distribución

Responsable: Auxiliar de Bodega

23.1. Transportar cajas selladas a la zona de almacenamiento.

23.2. Organizar según tipo de filamento y fecha de producción.

23.3. Registrar en inventario y preparar para despacho.

23.4. Verificar condiciones de humedad y temperatura en bodega.

8.2.3. Requerimiento de talento humano por equipo

Personal necesario para la fase de acondicionamiento de material

La capacidad productiva de la maquinaria de acondicionamiento es de 500 kg por hora. En un turno ordinario de 8 horas (480 minutos), se estima que las primeras 6 horas se destinan a la recepción y clasificación del material posconsumo, de lunes a sábado. Esto deja un margen de aproximadamente 2 horas (120 minutos) para el funcionamiento efectivo de la maquinaria, permitiendo procesar en promedio 600 kg de materia prima al día.

Con base en esta capacidad, se proyecta realizar un pedido semanal de entre 3.600 y 3.800 kg de materia prima (equivalente a 12 bloques compactos de 300 kilogramos), que serán trabajados en bloques de dos por día. Según consultas realizadas a empresas con operaciones similares, se determinó que para procesar 600 kg en un periodo inferior a seis horas se requieren entre 3 y 4 operarios.

Este personal es suficiente para asegurar que, en un solo turno diario de 8 horas, la planta pueda recibir, clasificar y acondicionar el material necesario para satisfacer la demanda semanal de la extrusora, estimada en aproximadamente 3.600 kg por semana.

Personal necesario para la fase de fabricación del filamento

La capacidad productiva de la maquinaria es de 25 kg/h, por lo tanto, en un turno ordinario de 8 horas (480 minutos), 3 turnos por día, la capacidad de producción diaria es de:

$$25 \text{ kg/h} * 8 \text{ h} = 200 \text{ kg por turno}$$

$$25 \text{ kg/h} * 24 \text{ h} = 600 \text{ kg por día}$$

Tiempos de proceso por kilogramo de filamento:

1. Acondicionamiento del PET posconsumo

- Capacidad de la línea de acondicionamiento: 500 kg/h
- Tiempo de acondicionamiento por kg:

$$\frac{60 \text{ min}}{500 \text{ kg}} = 0,12 \text{ min} = 7,2 \text{ segundos por kg}$$

Fabricación del filamento:

- Capacidad de extrusión: 25 kg/h
- Tiempo de fabricación por kg:

$$\frac{60 \text{ min}}{25 \text{ kg}} = 2,4 \text{ minutos por kg}$$

Empaque:

- Capacidad de empaque al vacío: 30 rollos/hora
- Tiempo por rollo:
- Empaque en la caja: 1 minuto por rollo

$$\frac{60 \text{ min}}{30 \text{ rollos}} = 2 \text{ minutos por rollo}$$

Resumen del tiempo total por kg de filamento
(Suponiendo que cada kg equivale a un rollo)

- Acondicionamiento: 0,12 min
- Fabricación: 2,4 min
- Empaque (vacío + caja): 2 + 1 = 3 min
- **Total: 5,52 minutos por kg**

Índice de productividad:

- Producción necesaria (demanda): 600 kg
- Tiempo disponible: 1440 min

$$\frac{600 \text{ kg}}{1440 \text{ min}} = 0,41 \text{ índice de productividad}$$

Número de empleados necesarios:

- Tiempo de fabricación por pieza (en minutos * pieza): 5,52 min
- Índice de productividad: 0,41
- Eficacia del personal: se procura una eficacia mínima del 85%

$$\frac{5,52 \text{ min} * 0,41 \text{ índice de productividad}}{0,85 \text{ eficacia mínima}} = 2,66 = 3 \text{ personas por turno}$$

Personal necesario para la fase de embalaje del filamento

La operación de sellado al vacío de carretes enrollados de filamento de PET reciclado requiere a una persona que se encargue de la preparación del carrete para el correcto sellado, este proceso consiste en atar con cinchos plásticos el filamento al carrete, luego se procede al proceso de sellado al vacío que se

realiza mediante una máquina con una capacidad de 30 unidades por hora, lo que representa un tiempo estimado de 2 minutos por carrete. Con este ritmo de producción y la sencillez operativa del equipo, una sola persona capacitada es suficiente para gestionar de manera eficientemente esta estación durante toda la jornada.

Después del sellado, lo siguiente es empaquetar los carretes en cajas, esta tarea consiste en colocar la bobina en su caja correspondiente, cerrar la caja y etiquetarla. Como esta operación se repite continuamente y requiere precisión, se necesita una tercera persona para garantizar un embalaje correcto y mantener el ritmo de producción de los productos embalados.

Por último, el proceso de almacenamiento de cajas en el almacén implica el traslado y organización de las cajas terminadas en la zona de almacenamiento. Esta función la realiza una cuarta persona, que también puede encargarse del *stock* básico y preparar las cajas para su posterior distribución.

Para un total de cuatro personas, que son necesarias en esta fase.

8.2.4. Estimación de espacio requerido por método Guerchet

Aplicación de método Guerchet

Superficie total: $S_t = s_s + s_a + s_e$

S_s = Superficie estática

S_a = Superficie gravitacional

S_e = Superficie de evolución

Superficie estática: $S_s = a * l$

S_s = Superficie estática

a = Ancho

l = Largo

Para determinar la **superficie estática** de cada máquina, es necesario considerar sus dimensiones, en particular su ancho y largo. El producto de estas dos medidas corresponde al área ocupada por cada equipo. Este cálculo se aplica a todas las máquinas incluidas en las tres fases del proceso de producción en fábrica.

La siguiente tabla ofrece información detallada:

Tabla 6 Dimensiones de maquinaria

Máquina	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m²)
Tolva de alimentación	1,7	1,7	2,89
Cinta de transporte y separación magnética	2,5	1	2,5
Pre-lavadora	3,7	1,7	6,29
Desfibradora	1,2	1	1,2
Trituradora	1,4	1	1,4
Lavadora por fricción	2,5	1,5	3,75
Lavadora flotante	3	1,7	5,1
Secadora	2,2	1,4	3,08
Silo de almacenamiento	3	1	3
Mezclador de material	0,6	0,6	0,36
Cargador de material por vacío	0,6	0,6	0,36
Tolva secadora	1,8	0,7	1,26
Extrusora	2	0,5	1
Tanques de enfriamiento	4	0,5	2
Sensor láser	1	0,5	0,5
Máquina tractora	0,6	0,5	0,3

Embobinadora	1,3	0,5	0,65
Acumulador de filamento	5,7	0,5	2,85
Selladora al vacío	0,8	0,6	0,48

Fuente: Elaboración propia

Superficie gravitacional: $S_g = S_s * N$

Donde:

Sg = superficie gravitacional

Ss = superficie estática

N = Numero de lados de trabajo

Con el fin de hallar la superficie gravitacional, primero se debe determinar la superficie estática de cada máquina (Información extraída de la tabla 6) y luego multiplicarla por el número de lados funcionales que tiene. Cabe aclarar que, en la mayoría de los equipos de línea de producción, solo se considera un lado funcional, dado que se trata de una línea continua y automatizada. Sin embargo, se hace una excepción en la fase inicial de alimentación de material, correspondiente a la tolva ubicada en la etapa de preparación, dado que esta requiere de acceso adicional para la carga manual del material.

A continuación, se presenta la tabla con los datos correspondientes a la superficie gravitacional de cada máquina:

Tabla 7 Número de lados de trabajo por máquina

Máquina	Área (m²) (Ss)	Número de lados de trabajo	Superficie gravitacional
Tolva de alimentación	2,89	3	8,67
Cinta de transporte y separación magnética	2,5	1	2,5
Pre-lavadora	6,29	1	6,29

Desfibradora	1,2	1	1,2
Trituradora	1,4	1	1,4
Lavadora por fricción	3,75	1	3,75
Lavadora flotante	5,1	1	5,1
Secadora	3,08	1	3,08
Silo de almacenamiento	3	1	3
Mezclador de material	0,36	1	0,36
Cargador de material por vacío	0,36	1	0,36
Tolva secadora	1,26	1	1,26
Extrusora	1	1	1
Tanques de enfriamiento	2	1	2
Sensor láser	0,5	1	0,5
Máquina tractora	0,3	1	0,3
Embobinadora	0,65	1	0,65
Acumulador de filamento	2,85	2	5,7
Selladora al vacío	0,48	1	0,48

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Altura elementos móviles: } h_{EM} = \frac{\sum_{i=1}^r S_S \cdot n \cdot h}{\sum_{i=1}^r S_S \cdot n}$$

r = Variedad de elementos móviles

h = Altura elemento móvil

n = número de elementos móviles

En este apartado, para determinar la **altura** correspondiente a los **elementos móviles**, es necesario identificar la variedad de dichos elementos (r), su altura específica (h) y el número de elementos móviles.

Los datos se plasman en la siguiente tabla:

Tabla 8 Altura de elementos móviles

Máquina (Móviles)	Altura elementos móviles (m)	h_{EM}
Cinta de transporte y separación magnética	3	3
Acumulador de filamento	1,9	1,9
Total		4,9

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Altura elementos estáticos: } h_{EE} = \frac{\sum_{i=1}^t S_s \cdot n \cdot h}{\sum_{i=1}^t S_s \cdot n}$$

r = Variedad de elementos estáticos

h = Altura elemento estático

n = número de elementos móviles

Para determinar la **altura** correspondiente de los **elementos estáticos**, es necesario identificar la variedad de dichos elementos (t), su altura específica (h) y el número de elementos móviles.

Estos datos se ven en la siguiente tabla:

Tabla 9 Altura de elementos estáticos

Máquina (Estáticos)	Altura de elementos estáticos (m)	h_{EE}
Tolva de alimentación	2,5	2,5
Pre-lavadora	2,5	2,5
Desfibradora	2,5	2,5
Trituradora	2,5	2,5
Lavadora por fricción	2,5	2,5
Lavadora flotante	2,5	2,5
Secadora	2,5	2,5
Silo de almacenamiento	3,5	3,5
Mezclador de material	0,4	0,4
Cargador de material por vacío	0,4	0,4
Tolva secadora	1,5	1,5
Extrusora	1	1
Tanques de enfriamiento	1	1
Sensor láser	1	1
Máquina tractora	1	1
Embobinadora	1,5	1,5
Selladora al vacío	1,2	1,2
Total		30

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Superficie de evolución: } S_e = (S_s + S_g) \cdot k$$

Se = Superficie de evolución

Ss = Superficie estática

Sg = Superficie gravitacional

$$K = \text{Coeficiente de evolución} = k = \frac{h_{EM}}{2hEE}$$

$$K = \frac{4.9}{2(30)}$$

$$K = 0.081$$

Resultados

Para calcular la superficie de evolución se requieren los valores de la superficie estática (S_s), la superficie gravitacional (S_g) y el coeficiente de evolución previamente determinado. Finalmente, la superficie total requerida se obtiene de la suma de superficies estáticas, gravitacionales y de evolución, como se muestra a continuación:

Tabla 10 Área total requerida para la planta

Máquina	S_s (m ²)	S_g (m ²)	S_e (m ²)	S_T (m ²)
Tolva de alimentación	2,89	8,67	0,94	12,50
Cinta de transporte y separación magnética	2,5	2,5	0,41	5,41
Pre-lavadora	6,29	6,29	1,03	13,61
Desfibradora	1,2	1,2	0,20	2,60
Trituradora	1,4	1,4	0,23	3,03
Lavadora por fricción	3,75	3,75	0,61	8,11
Lavadora flotante	5,1	5,1	0,83	11,03
Secadora	3,08	3,08	0,50	6,66
Silo de almacenamiento	3	3	0,49	6,49
Total, línea de acondicionamiento	29,21	34,99	5,24	69,44
Mezclador de material	0,36	0,36	0,06	0,78
Cargador de material por vacío	0,36	0,36	0,06	0,78
Tolva secadora	1,26	1,26	0,21	2,73
Extrusora	1	1	0,16	2,16
Tanques de enfriamiento	2	2	0,33	4,33

Sensor láser	0,5	0,5	0,08	1,08
Máquina tractora	0,3	0,3	0,05	0,65
Embobinadora	0,65	0,65	0,11	1,41
Acumulador de filamento	2,85	5,7	0,70	9,25
Total, línea de fabricación de filamento	9,28	12,13	1,75	23,16
Selladora al vacío	0,48	0,48	0,08	1,04
Área total requerida para la planta	38,97	47,60	7,07	93,64

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos al aplicar el método de Guerchet para estimar la superficie requerida para cada máquina o equipo indican que, para la **fase 1** del proceso productivo, correspondiente a la línea de embotellado de material (preparación de botellas PET), se requiere una superficie de aproximadamente 70 m².

En **la fase 2**, correspondiente a la línea de extrusión del filamento, se estima un área de por lo menos 23 m².

Por último, para la **Fase 3**, dedicada al embalaje del filamento, se requiere una superficie mínima de 1,04 m².

En total, la superficie total estimada para un “correcto” funcionamiento de la planta es de aproximadamente 94 m².

8.2.5. Ubicación proyectada por método de centro de gravedad

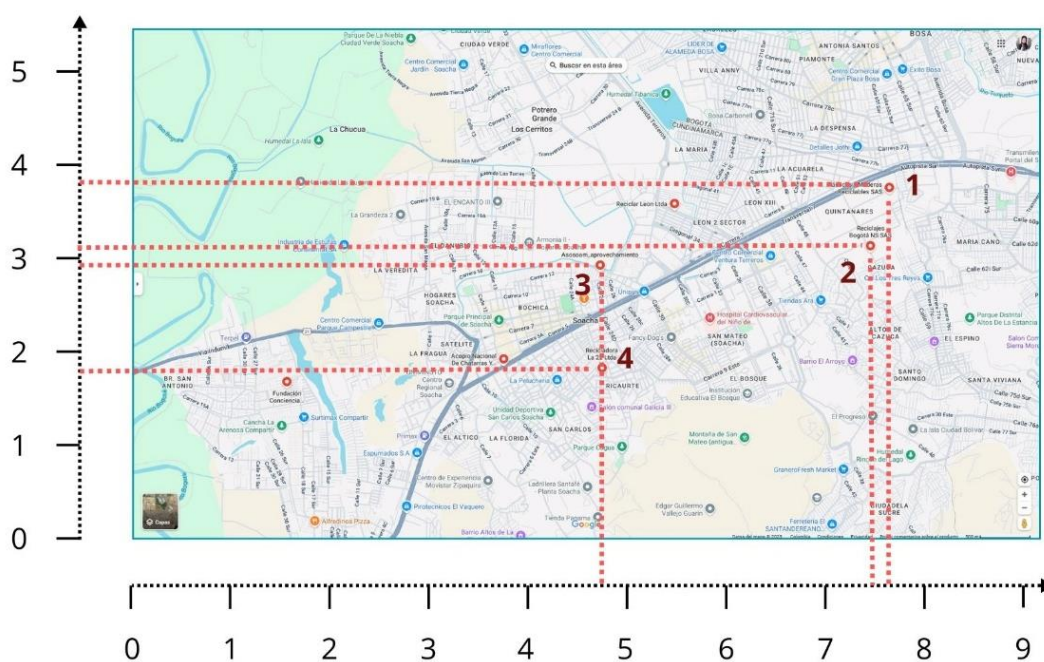
Para la proyección de la ubicación de la planta, se identificaron y caracterizaron cuatro posibles proveedores de plástico PET compactado, los cuales se ubican en el mapa que se presenta a continuación. A cada uno de estos proveedores se les realizó un acercamiento con el objetivo de evaluar sus instalaciones, la calidad del producto que ofrecen y el precio al que lo comercializan.

Dos de los proveedores visitados están ubicados en la comuna 4: Plásticos y Maderas Reciclables S.A.S. y Reciclajes Bogotá NS S.A.S. Ambos presentan los precios levemente más altos, pero también la mejor calidad percibida tanto en sus productos como en sus instalaciones.

Por otro lado, Asosoam Aprovechamiento y Recicladora La 22 Ltda. se caracterizan por un enfoque más informal, con una calidad inferior y una limitada capacidad operativa. Estos factores, junto con los bajos volúmenes de reciclaje que manejan, reducen significativamente su viabilidad como proveedores para el abastecimiento continuo de materia prima.

Por último, a cada centro se le asignarán coordenadas según su posición relativa en el plano como se muestra a continuación:

Figura 48 Mapa de ubicación de centros de acopio



Fuente: Elaboración propia con ayuda de Google Maps

Para un análisis más puntual se planteó la variable calidad del material reciclado como un factor de ponderación. Esta calidad fue valorada mediante una escala de percepción visual relacionada las condiciones del material (PET) compactado, con valores que van del 1 al 5, donde:

(1) refleja una calidad muy baja (material contaminado, mezclado o con residuos), y (5) una calidad muy alta (material limpio, homogéneo y en buenas condiciones para su procesamiento).

Esta escala permite dar mayor peso a aquellos centros de acopio que suministran materia prima de mejor calidad, dado que esto tendría un impacto en la eficiencia del proceso productivo, en los costos y/o esfuerzos de limpieza para su clasificación previa al procesamiento.

A continuación, se describen los criterios establecidos para la variable de calidad, con su escala de calificación correspondiente.

Tabla 11 Calificación según la calidad del material

Puntaje	Criterios aplicables a la paca de material
5 (Muy alta)	<ul style="list-style-type: none"> - Color dominante transparente o claro - Muy baja presencia de otros plásticos <ul style="list-style-type: none"> - Sin residuos visibles - Etiquetas mínimas
4 (Alta)	<ul style="list-style-type: none"> - Predominio de PET claro - Presencia baja de tapas o etiquetas <ul style="list-style-type: none"> - Mínima suciedad - Pocas botellas de colores
3 (Media)	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla de botellas claras y de colores <ul style="list-style-type: none"> - Varias etiquetas o tapas - Puntos con polvo o residuos superficiales <ul style="list-style-type: none"> - Presencia de botellas no PET - Manchas visibles (grasas, tierra)
2 (Baja)	<ul style="list-style-type: none"> - Muchas etiquetas y tapas <ul style="list-style-type: none"> - Mal olor ocasional

- 1 (Muy baja)
- Altísima mezcla de materiales (PET, HDPE, basura)
 - Suciedad intensa o residuos orgánicos
 - Dañado o mal compactado

Fuente: Elaboración propia

Esta ponderación se utilizó en conjunto con la variable del costo por kilogramo en el que hubo un rango que va desde los \$300 hasta los \$500 x kg de acuerdo con precios establecidos por cada centro de acopio. Como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12 Empresas de acopio de plástico en el municipio

#	Empresas	x	y	Costo/kg (\$)	Percepción de calidad
1	Plásticos y maderas reciclables SAS	7,6	3,8	500	5
2	Reciclajes Bogotá NS SAS	7,4	3,1	400	4
3	Asosoam aprovechamiento	4,7	2,9	300	2
4	Recicladora la 22 Ltda	4,7	1,7	300	1

Fuente: Elaboración propia

La fórmula y sus variables son:

X_c: Coordenada x del centro de gravedad (ubicación teórica ideal en el eje horizontal).

Y_c: Coordenada y del centro de gravedad (ubicación teórica ideal en el eje vertical).

X_i: Coordenada x de cada centro de acopio.

Y_i : Coordenada y de cada centro de acopio.

W_i : Peso asignado a cada centro de acopio, en este caso basado en la **calidad de la materia prima** o su **importancia relativa**.

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$x_c = \frac{(7,6 * 5) + (7,4 * 4) + (4,7 * 2) + (4,7 * 1)}{5 + 4 + 2 + 1}$$

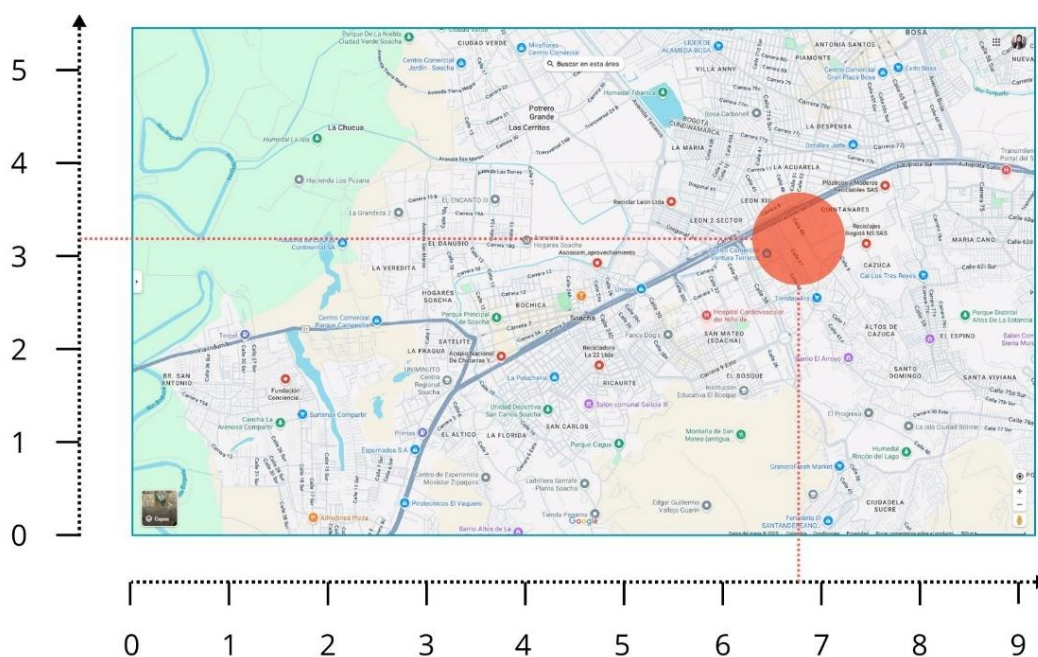
$$\mathbf{X_c = 6,8}$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i * w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$y_c = \frac{(3,8 * 5) + (3,1 * 4) + (2,9 * 2) + (1,7 * 1)}{(5 + 4 + 2 + 1)}$$

$$\mathbf{y_c = 3,2}$$

Figura 49 Ubicación proyectada de la planta de fabricación de filamento



Fuente: Elaboración propia con ayuda de Google Maps

Conclusión

A partir del análisis de localización realizado mediante el método de centro de gravedad, se obtuvo un resultado de 6,8 en el eje X y 3,2 en el eje Y, lo que permitió identificar una ubicación estratégica dentro del municipio de Soacha. Con base en estas coordenadas, la planta se situaría en una zona cercana a la Autopista Sur, en un punto de convergencia entre las comunas 4, 5, y de la comuna 3. Quedando cerca de las opciones 1 y 2 de los centros de acopio con mejor calidad - precio en cuanto a oferta de materia prima. Como punto de referencia estratégico dentro del área selecta, se consideró el Centro Comercial Ventura, debido a su accesibilidad, cercanía con vías principales y potencial logístico para el desarrollo del proyecto.

8.2.6. Diseño de planta

En la elaboración de la propuesta de diseño de planta, un factor que resultaba importante de caracterizar un espacio para proyectar el diseño sobre este. Para ello, se realizó una búsqueda en portales especializados en la oferta de inmuebles comerciales, identificando una bodega con características adecuadas para el funcionamiento de la planta. La bodega está ubicada en el sector de León XIII, zona que se encuentra dentro del rango proyectado según el análisis de ubicación sugerida por el método del centro de gravedad. Esta propiedad fue localizada a través del portal **Fincaraiz.com** y tiene un canon de arrendamiento mensual de **14.000.000 COP** por un área de **880 m²**, lo que la convierte en un espacio apropiado para el establecimiento de la planta.

Figura 50 Cotización de Bodega

Usado

Guardar Compartir Reportar

León XIII, Soacha, Cundinamarca León XIII, Leon xiii, Reina sofia

2 Baños 880 m²

\$ 14.000.005
Precio de Arriendo

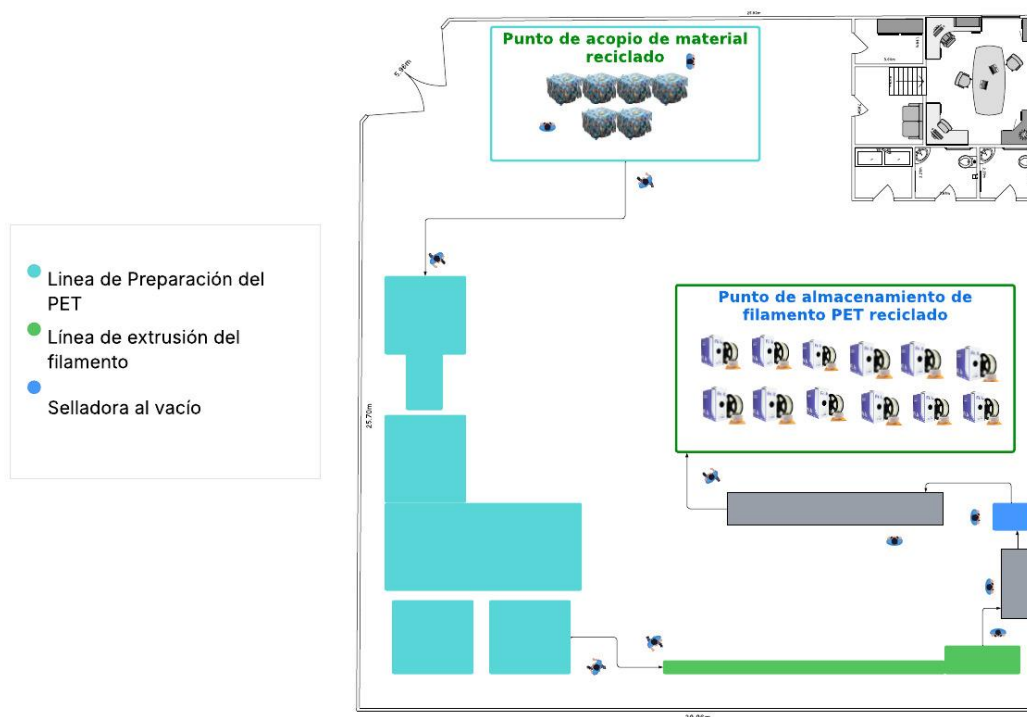
Galería Mapa

Fuente: Recuperado de Bodega En Arriendo En Soacha, León XIII

Basado en las imágenes que contiene la publicación del inmueble y el área de este, se estiman las dimensiones de la bodega, las cuales facilitaron la

delimitación del espacio para realizar la propuesta, a continuación, se evidencia la propuesta del diseño sobre el inmueble caracterizado:

Figura 51 Propuesta de diseño de planta



Fuente: Elaboración propia

Debido a la simplicidad del proceso y que el proceso requiere de solo tres máquinas de baja operatividad manual se realiza esta propuesta de diseño basada en los principios de Richard Muther, esta propuesta es de una distribución por tipo de producto de carácter lineal, donde se comprende un espacio para el acopio del plástico PET reciclado, el espacio requerido por la línea de acondicionamiento de material seguida por los proceso de extrusión y embobinado del filamento, realizados por la planta de filamento, y finalmente el área designada para el empaque y almacenamiento del producto terminado, en cuanto a las dimensiones como bien se evidenció en el método Guerchet que el espacio mínimo requerido para el establecimiento de la maquinaria es de alrededor de 93 m² y esta bodega cuenta con una superficie mayor a los 800 m², el

espacio no representa un desafío, facilitando la designación de espacios al acopio de materia prima y almacenamiento de producto terminado, además de un diseño sencillo del área administrativa y área de servicios generales ubicada en la parte superior derecha del plano. Este diseño si bien es sencillo, facilita la visual de cómo se podría distribuir la planta en un lugar real.

8.3. Fase III: El mercado y partes interesadas

8.3.1. Estudio de mercado

Introducción

A través de este estudio de mercado, se busca identificar quiénes son los clientes potenciales, cuáles son sus preferencias y necesidades reales, cómo perciben los costos asociados al filamento de impresión 3D, qué tan accesible es para ellos la adquisición y qué canales de comunicación resultan más eficientes para llegar a ellos. La información compilada permitió definir una propuesta ajustada al mercado actual en el municipio de Soacha y Bogotá, orientar esfuerzos de manera eficiente.

Para este estudio se aplicó una encuesta segmentada según las categorías de las 4C (Cliente, Costo, Conveniencia y Comunicación), y los principales resultados se presentan organizados bajo estas mismas categorías.

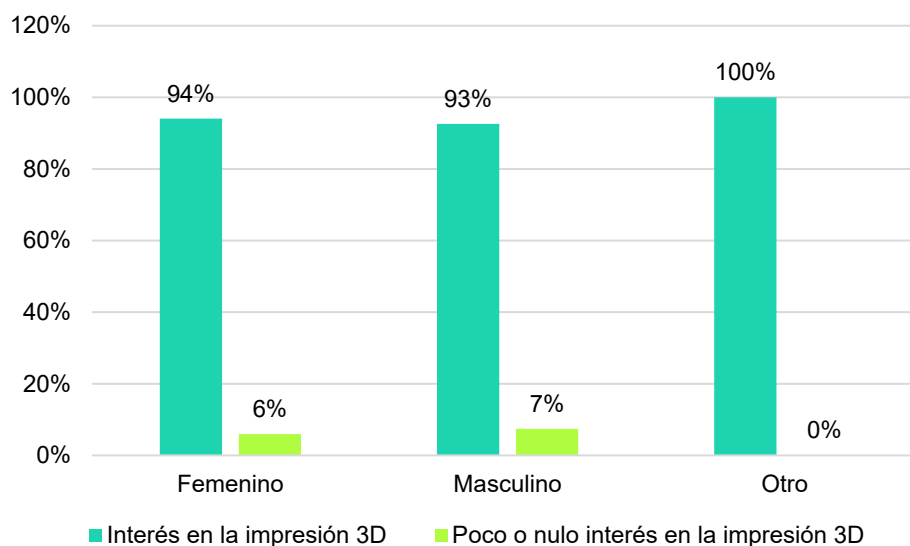
Cliente

Al cruzar los datos obtenidos mediante la herramienta de recolección de datos referentes al interés en la impresión 3D, se logró segmentar la información en función de variables como el rango de edad, el género y el tipo de empresa encuestada. Este análisis permitió caracterizar al cliente potencial que podría estar interesado en adquirir filamento para impresión 3D fabricado a partir de

PET reciclado. A continuación, se presentan los resultados del cruce de datos y sus respectivas conclusiones.

Género

Figura 52 Interés en la impresión 3D por género

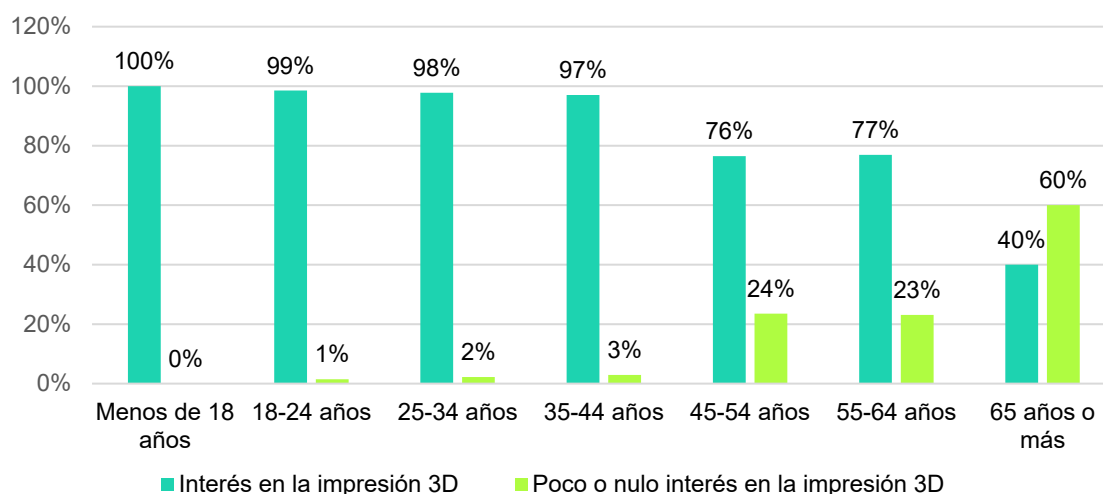


Fuente: Elaboración propia

En cuanto al género, se evidencia una notable favorabilidad hacia el interés en la impresión 3D, ya que en todos los segmentos de género de la población encuestada el interés supera el 93%. Esto permite inferir que, para la comercialización del filamento de impresión, el género del cliente resulta irrelevante, dado que no implica una variación significativa en el interés por esta tecnología. Esta situación es muy favorable, ya que representa un mercado potencialmente amplio.

Rango de edad

Figura 53 Interés en la impresión 3D por edad



Fuente: Elaboración propia

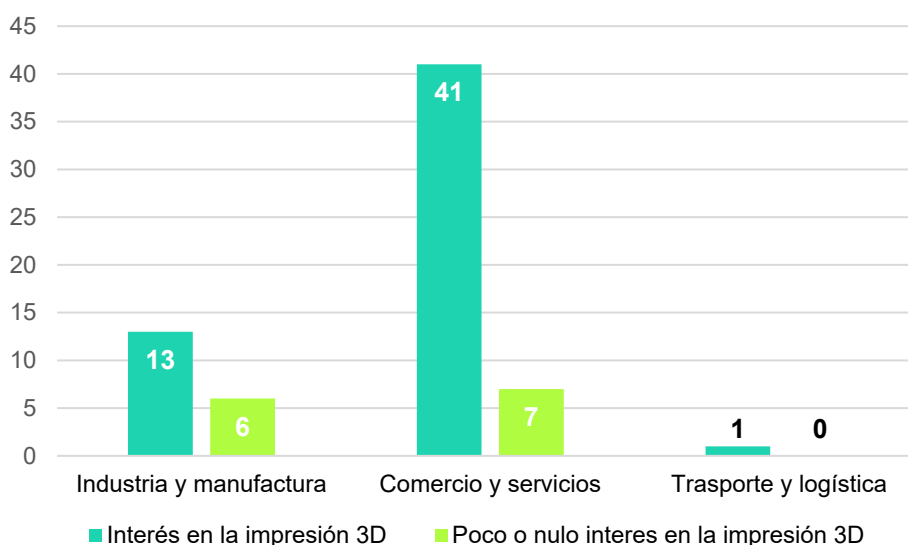
El rango de edad es un dato de vital importancia, ya que permite orientar las **estrategias comerciales** para ajustarlas a las necesidades y preferencias de los **consumidores**. En este caso, como se observa en la gráfica, la tendencia es la siguiente: en los rangos de edad más jóvenes, se evidencia un notable **interés** en la tecnología, con índices superiores al **97%**. Sin embargo, en el grupo de 45 a 54 años comienza a notarse una disminución del interés, tendencia que se acentúa a medida que aumenta la edad. El desinterés alcanza su punto máximo en el rango de mayores de 65 años, donde apenas el 40% manifiesta interés en la tecnología de impresión 3D, mientras que el 60% restante no muestra interés alguno.

Estos resultados establecen que el público objetivo principal son claramente las personas jóvenes. No obstante, es importante destacar que en los rangos de edad más “maduros” (entre 45 y 64 años) los niveles de interés no son lo suficientemente bajos como para descartar a estos grupos como clientes potenciales. Esto resulta beneficioso, ya que evidencia la existencia de un **mercado** bastante **amplio**, en el cual la edad no representa un factor

condicionante para la comercialización de filamento de impresión fabricado a partir de PET reciclado.

Interés empresarial

Figura 54 Interés en impresión 3D por tipo de empresas



Fuente: Elaboración propia

Para el estudio, también resulta fundamental identificar el tipo de empresa o, al menos, el sector empresarial con mayor interés. En la compra de filamento de impresión, En este caso, el alcance de la herramienta de recolección de datos permitió caracterizar empresas cuya actividad económica se relaciona con las siguientes categorías: alimentos, comercio, construcción, manufactura, reciclaje, servicios financieros, servicios generales, talleres de mecánica y transporte o logística.

Para el análisis, estas actividades económicas se agruparon en las categorías que se evidencian en la gráfica superior: industria y manufactura, comercio y servicios, y transporte y logística.

Tabla 13 Segmentación: Actividad Económica

Tipo de actividad económica	Categoría
Alimentos	Comercio y servicios
Comercio	Comercio y servicios
Servicios financieros	Comercio y servicios
Servicios	Comercio y servicios
Construcción	Industria y manufactura
Manufactura	Industria y manufactura
Reciclaje	Industria y manufactura
Taller de mecánica	Industria y manufactura
Transporte o logística	Trasporte y logística

Fuente: Elaboración propia

La categoría con mayor número de encuestados corresponde a comercio y servicios. Sumado a los resultados de la pregunta "¿Qué tipo de implementación consideras adecuada para tu negocio?" (ver tabla 4), se concluye que las empresas más interesadas son aquellas que podrían ofrecer servicios de impresión 3D o comercializar artículos impresos.

Además, en la pregunta "¿Cuál es la razón por la que consideras inviable la implementación de la impresión 3D en tu negocio?" (ver tabla 5), se evidencia que muchas personas perciben que la impresión 3D no es capaz de fabricar piezas suficientemente resistentes para aplicaciones que requieren alta durabilidad, como herramientas o instrumentos para actividades de ornamentación o talleres mecánicos.

Sujeto a lo anterior, el cliente potencial a nivel empresarial es aquel que pueda aprovechar la fabricación eficiente de piezas cuyo propósito no implique una alta exigencia de resistencia. En otras palabras, existe un mercado amplio que, inicialmente, excluye a la industria manufacturera pesada. Sin embargo, no se descarta su participación, ya que la fabricación aditiva también puede ser utilizada en procesos como el prototipado rápido o la producción de piezas plásticas difíciles de conseguir, como clips y grapas utilizadas para fijar paneles en vehículos.

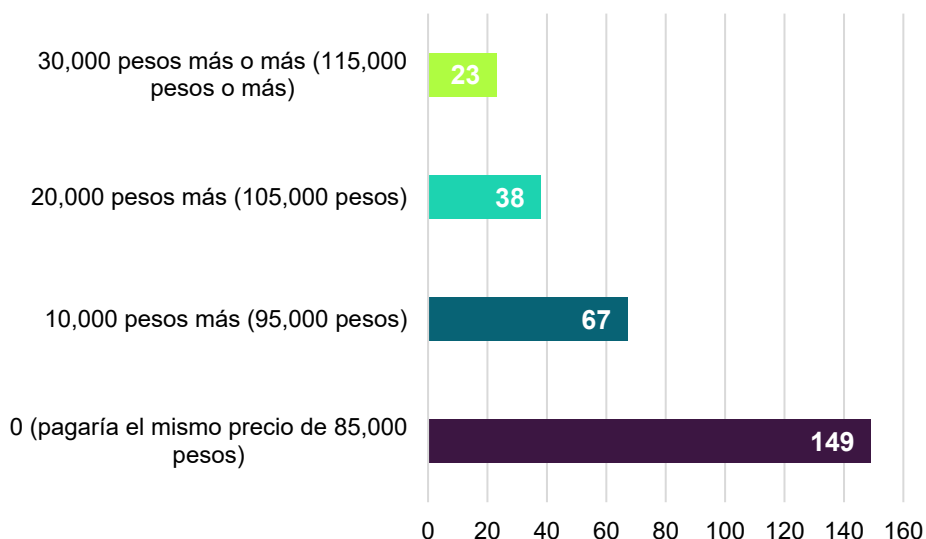
Esto plantea un reto para la estrategia comercial, que deberá enfocarse en dar a conocer las ventajas de la impresión 3D y en cambiar la percepción de las empresas escépticas, mostrando el potencial de esta tecnología en diversas aplicaciones.

Costo

Se buscó identificar el rango de precios que los potenciales clientes estarían dispuestos a pagar por el filamento para impresión 3D, evaluar si el costo del envío podría influir en su decisión de compra y conocer la percepción general sobre si el filamento es considerado un producto costoso. El objetivo de este componente fue comprender las sensibilidades de precio del mercado y los factores que podrían afectar la intención de compra, con el fin de establecer estrategias de comercialización más acertadas. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos a partir de este análisis.

Si el precio promedio de un kilogramo de filamento de impresión 3D comercial es de 85,000 pesos colombianos, ¿cuánto más estaría dispuesto(a) a pagar por un filamento fabricado con plástico reciclado?

Figura 55 Precios percibidos como aceptables por los clientes



Fuente: Elaboración propia

El rango de precios en el que debe comercializarse el filamento de impresión 3D fabricado a partir de PET reciclado es un factor determinante para el éxito del proyecto. Si los costos de fabricación implican que el precio de venta al público sea superior al valor que los clientes están dispuestos a pagar, las ventas podrían verse afectadas significativamente, ya que el producto dejaría de ser atractivo desde el punto de vista económico, alejándose de las proyecciones comerciales.

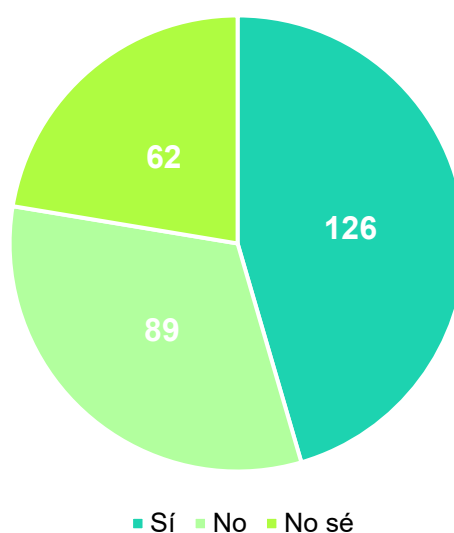
De ahí la importancia de conocer esta franja de precios. Como se evidencia en los resultados, a nivel general, el 53% de los encuestados no estaría dispuesto a pagar un precio mayor al de los filamentos comerciales actuales.

Aproximadamente el 24% aceptaría pagar hasta 10.000 pesos adicionales, mientras que el 23% restante estaría dispuesto a pagar 20.000 pesos o más.

Estos datos son contundentes y permiten concluir que el filamento fabricado no debería superar el precio promedio del filamento comercial disponible en el mercado. De ser inevitable un incremento, el precio no debería sobrepasar los 95.000 pesos, y únicamente si se logra justificar mediante una mejor presentación del producto o la incorporación de beneficios claros y diferenciadores frente a los filamentos tradicionales.

¿Consideras el precio del filamento de impresión 3D en el mercado es elevado?

Figura 56 Percepción general de precios de los filamentos comerciales



Fuente: Elaboración propia

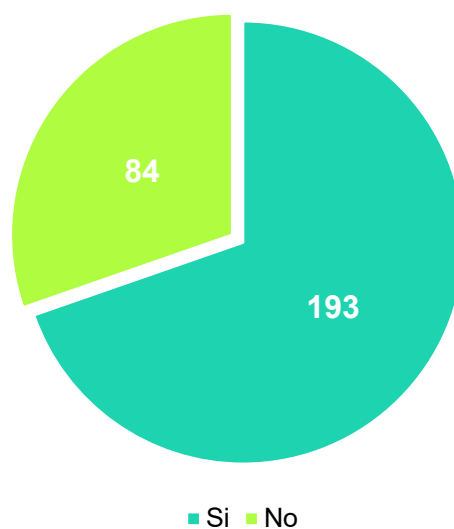
La percepción de los encuestados respecto a los precios generales de este tipo de producto resulta clave para determinar el rango adecuado en el que podría comercializarse el filamento. En este caso, el 45% de los encuestados considera que los precios son altos, lo que limita el margen de precios en el que el producto podría ser competitivo. Si se percibe como un producto

costoso, un incremento en el precio sería contraproducente, ya que podría incentivar a los consumidores a optar por opciones más económicas dentro de un catálogo de precios que ya perciben como elevado. No obstante, existe un grupo del 32% que no considera que el precio sea alto, y un 22% que no sabe si es costoso o no.

Este panorama sugiere que, aunque hay un segmento de la población que no percibe al filamento como un producto costoso, es fundamental que el precio se mantenga dentro de un rango accesible para no alejar a los consumidores que tienen una percepción de precios elevados. Por lo tanto, es esencial considerar esta percepción en la estrategia de precios para lograr un equilibrio entre competitividad y rentabilidad.

¿Consideras que los costos adicionales como el envío, pueden afectar tu decisión de compra?

Figura 57 Influencia del costo de envío en la intención de compra



Fuente: Elaboración propia

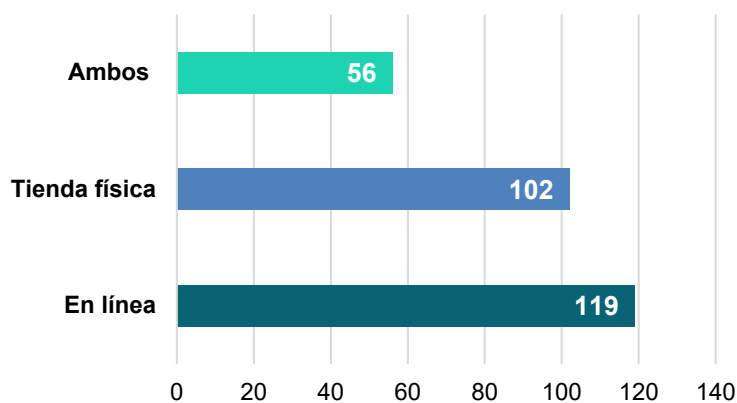
La **mayoría** de los encuestados (**193** o sea un **70%** aproximadamente) considera que los costos adicionales, como el envío, sí **afectan** su decisión. Esto evidencia que, el **Costo** no se limita únicamente al precio del producto, sino que también incluye todos los gastos asociados que el cliente entiende como parte del valor total de la compra. Para el **proyecto**, resulta importante tener en cuenta este aspecto al momento de definir estrategias de **precio** y **distribución**, buscando facilitar el acceso al producto sin que los costos asociados figuren como una barrera significativa.

Conveniencia

Con el fin de examinar el componente de **Conveniencia**, se formularon dos preguntas dirigidas a identificar las preferencias de compra y la apreciación de accesibilidad al producto por parte de los encuestados. La primera pregunta abordó el **canal de compra** más usual (en línea, tienda física o ambos), buscando entender cómo facilitar el acceso al producto de acuerdo con los hábitos actuales de los consumidores. La segunda pregunta indagó sobre el **grado de dificultad** para acceder a este tipo de producto en su zona, permitiendo evaluar las barreras existentes en la disponibilidad y distribución. Estos aspectos son fundamentales para definir estrategias en las que el producto esté al alcance del cliente de manera práctica y eficiente, tal como lo traza la "conveniencia" en el enfoque de las 4C, donde el consumidor espera facilidad y accesibilidad como parte integral de su experiencia de compra. Las **respuestas** conseguidas se muestran a continuación:

¿Prefieres comprar productos de este tipo en línea o en tiendas físicas?

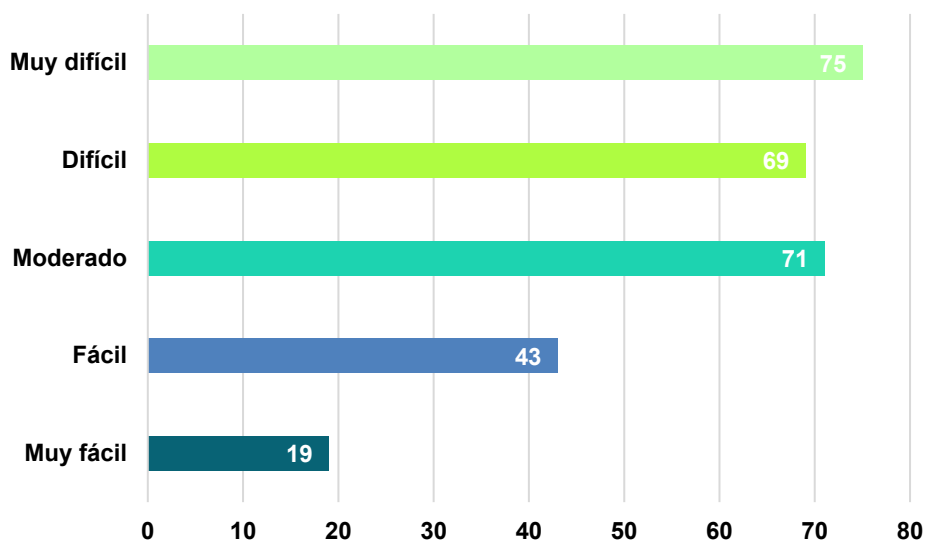
Figura 58 Canales de compra preferidos por los clientes



Fuente: Elaboración propia

¿Qué tan fácil es para ti acceder a este tipo de producto en tu zona?

Figura 59 Dificultad para conseguir el producto en la zona



Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el **43%** de los encuestados (119 personas) prefieren hacer sus compras en línea, seguido por un **37%** (102 personas) que opta por adquirir productos en tiendas físicas, y un **20%** (56 personas) que utiliza ambos canales.

Este comportamiento apunta a una tendencia clara hacia la digitalización de las compras, lo que respalda la necesidad de **fortalecer** la **presencia online** para la **comercialización** del filamento 3D reciclado.

Por otro lado, respecto a la facilidad de acceso al producto en sus zonas, el **52%** de los encuestados (144 personas) señalan que conseguir este tipo de producto resulta difícil (69 personas) o muy difícil (75 personas), mientras que solo el **22%** (62 personas) considera que es fácil (43 personas) o muy fácil (19 personas).

El **26%** restante (71 personas) calificó el acceso como moderado.

En este contexto se identifica una oportunidad estratégica: no solo se tiene que garantizar un **canal de compra** accesible en línea, sino también en optimar la **distribución** y **cobertura** para reducir la dificultad observada en el acceso al producto, en especial en zonas donde actualmente existe una alta **barrera** de **disponibilidad**.

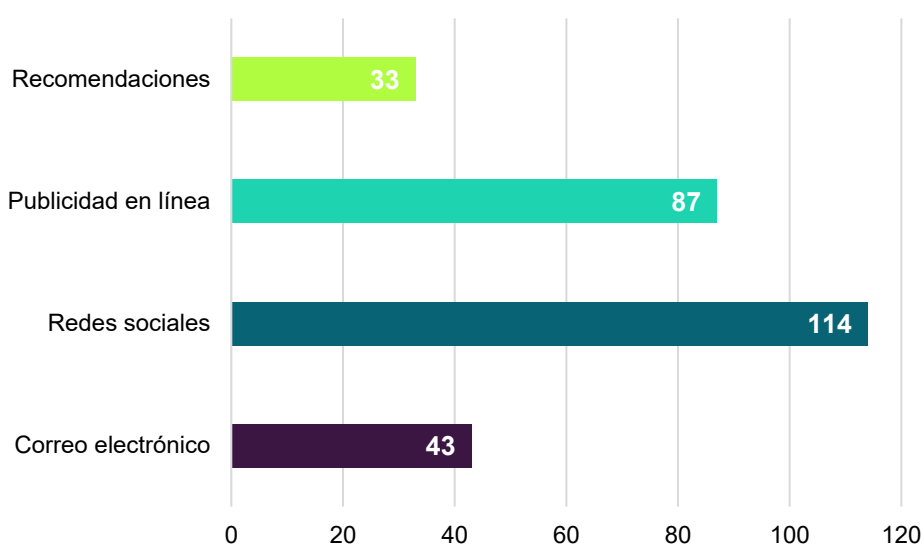
Comunicación

Las preguntas que se plantearon buscan comprender el medio por el que el público opta por recibir información sobre productos o servicios, y cómo se enteran de nuevas marcas, lo que es esencial para el desarrollo de una estrategia de comunicación en el proyecto de la planta de filamento de impresión 3D a partir de PET reciclado. Estas inquietudes se direccionan con las 4 C's del marketing, en este caso con la conveniencia y la comunicación. Al identificar los canales más eficaces para llegar a los consumidores, hay una base sólida para que la propuesta de valor alcance de forma directa y accesible al público objetivo, mejorando la experiencia del cliente. Esto permitirá una mejor adaptación de la estrategia de marketing y así mostrar una visión clara entre las necesidades y expectativas del mercado.

Las preguntas planteadas y sus respectivas respuestas fueron las siguientes:

¿A través de qué canales prefieres recibir información sobre productos o servicios?

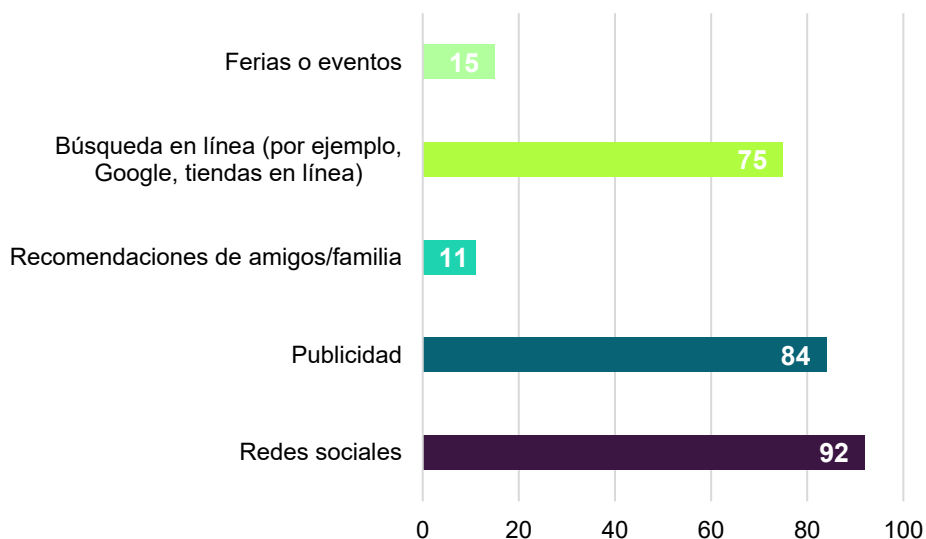
Figura 60 Canales preferidos para recibir información de productos



Fuente: Elaboración propia

¿Cómo sueles enterarte de nuevos productos o marcas?

Figura 61 Fuentes principales para conocer nuevos productos



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados de estas preguntas, se puede corroborar que las redes sociales son el canal más efectivo de **comunicación**, con un **43%** de preferencia para recibir información y un **38%** para conocer nuevos productos.

La publicidad en línea (**33%** y **35%**) y la búsqueda en internet (**31%**) también son relevantes, pero en menor medida.

Estos datos indican que, para lograr una comunicación efectiva con el mercado objetivo, se deberán priorizar **estrategias digitales** centradas en redes sociales y publicidad online, donde hay mayor interés y alcance hacia los consumidores.

Resultados y orientaciones estratégicas basadas en las 4C del marketing

El **perfil de cliente** reconocido para el proyecto corresponde principalmente a personas jóvenes, donde el interés en el campo de la manufactura aditiva supera el **97%** en los rangos **menores de 44 años**. No obstante, no se descarta el potencial de consumidores en rangos de edad mayores (**45 a 64 años**), donde, aunque el interés se reduce, este se mantiene en niveles que justifican acciones comerciales específicas para estos segmentos. Esta caracterización, combinada con la tendencia del **43%** de los consumidores a preferir **compras en línea** y con un **52%** que percibe **dificultades** en el **acceso físico** al producto, señala la necesidad de desarrollar una estrategia de comercialización enfocada en la **digitalización** de las ventas y en mejorar la **cobertura** logística.

Para el **costo**, la percepción de precios altos reconocida por el **45%** de los encuestados y el hecho de que el **53%** no estaría dispuesto a pagar más que el precio promedio actual de filamentos, plantean como reto la necesidad de brindar un producto económicamente **competitivo**. La estrategia de precios deberá oscilar en torno a los **\$95.000 pesos** colombianos (**\$22.3 dólares**) o menos, considerando no solo el valor base, sino además los costos asociados al envío, que tienen repercusiones en la decisión de compra en un **70%** de los casos.

Por último, la **comunicación** debe ser coherente con el perfil del cliente y el canal de compra preferido: el **43%** de los encuestados prefiere recibir información a través de **redes sociales**, respaldado por un **33%-35%** que también valora la **publicidad online**. Esto refuerza la importancia de estructurar una estrategia digital disruptiva que posicione al filamento reciclado como una opción accesible, moderna y ecológica.

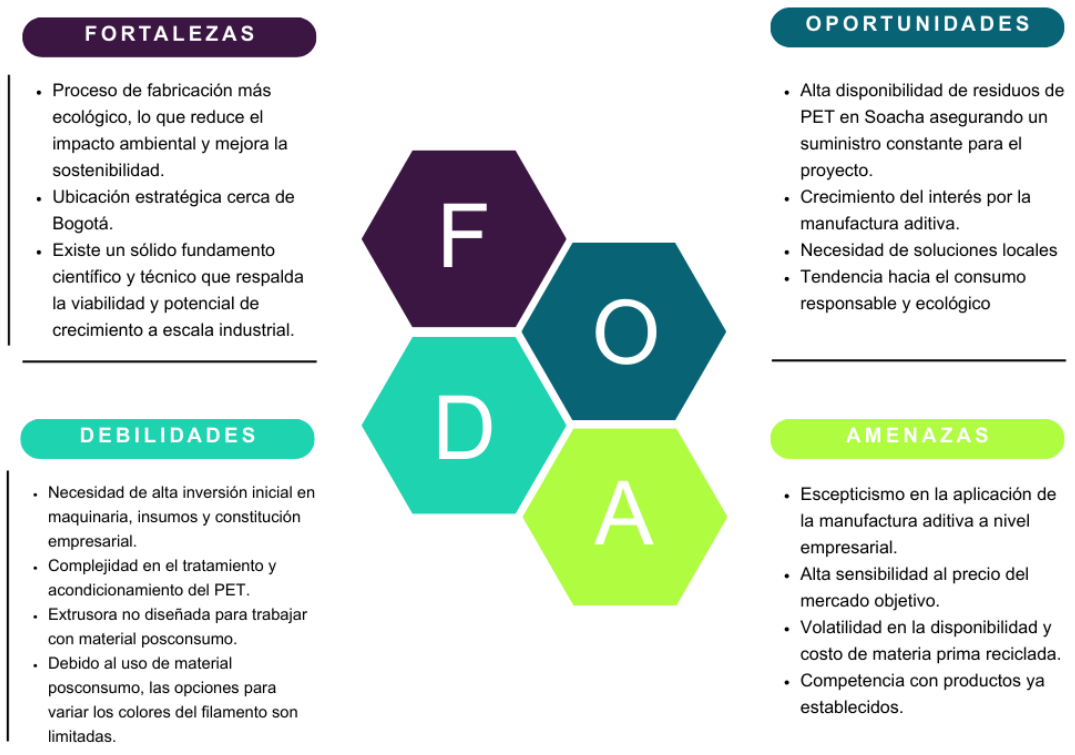
Dicho esto, del **estudio de mercado**, se concluye que cada paso hacia adelante del proyecto dependerá de una correcta alineación entre la **identificación** del cliente, el fortalecimiento de los **canales de conveniencia**, la sensibilidad de precios, y el **aprovechamiento** de los **medios digitales** como principal **herramienta de comunicación**.

8.3.2. Plan estratégico

El propósito del plan estratégico establecerá las directrices fundamentales para la creación teórica de una planta de producción de filamento para impresión 3D a partir de tereftalato de polietileno (PET) reciclado, en el municipio de Soacha. Y así mismo definir la identidad organizacional, los objetivos a largo plazo y las estrategias necesarias para cumplir dichos objetivos. Aunque el proyecto se desarrolle en un contexto académico, se propone una estructura empresarial coherente y viable, que permita visualizar la factibilidad del negocio, su impacto ambiental y su contribución a la transformación productiva en el territorio.

FODA

Figura 62 Matriz FODA



Fuente: Elaboración propia

1. Fortalezas (Factores Internos Positivos)

- *Proceso ecológico:* El proyecto propone transformar residuos PET del municipio en filamento útil, lo que favorece directamente a la sostenibilidad ambiental dentro del contexto local.
- *Ubicación estratégica:* La cercanía a Bogotá proporciona acceso a mercados, y posibles alianzas para extender el alcance de la planta.
- *Base científica y técnica:* El respaldo técnico asegura escalabilidad y confianza en el proyecto.

2. Debilidades (Factores Internos Negativos)

- *Alta inversión inicial:* Se requiere capital suficiente para maquinaria e insumos, lo que puede restringir el arranque.
- *Complejidad técnica:* El tratamiento del PET posconsumo exige procesos especializados, aumentando costos operativos.
- *Limitaciones de la extrusora y colores:* Restringe la diversificación del producto y podría afectar su atractivo en el mercado objetivo.

3. Oportunidades (Factores Externos Positivos)

- *Disponibilidad de residuos PET:* Según datos de la herramienta de recolección, Soacha brindaría materia prima abundante, asegurando un suministro.
- *Crecimiento de la manufactura aditiva:* El mercado de filamentos para impresión 3D está en su auge.
- *Consumo responsable:* La tendencia ecológica beneficia productos reciclados frente a opciones habituales.
- *Necesidad de soluciones locales:* La falta de productores nacionales y / o locales de filamento reciclado deja un espacio para satisfacer una demanda interna creciente contrarrestando los productos importados o de otras partes del país.

4. Amenazas (Factores Externos Negativos)

- *Escepticismo empresarial:* La impresión 3D aún no es ampliamente adoptada en el sector empresarial local.
- *Sensibilidad al precio:* Puede que el cliente priorice costos bajos sobre beneficios ambientales.
- *Volatilidad de materia prima:* Pender de los residuos reciclados implica riesgos en disponibilidad y precio.
- *Competencia establecida:* Filamentos vírgenes o importados podrían tener ventajas en precio o variedad.

Conclusiones del análisis FODA

Con este análisis, se vislumbró con mayor certeza el **entorno** en el que se desarrollará el proyecto. Se confirma que existe una **base sólida** y un potencial optimista: Esta iniciativa no solo responde a una necesidad ambiental inminente, como es el aprovechamiento de desechos plásticos (en este caso PET) posconsumo, sino que además cuenta con una ubicación estratégica y un respaldo técnico que fortalece su **viabilidad**. Las debilidades y amenazas descritas como la inversión inicial o la sensibilidad al precio no derogan la idea, sino que resalta **pilares clave a direccionar estratégicamente**. En conjunto, este análisis defiende la **conveniencia** de una propuesta innovadora, sostenible y con potencial real de **impacto**, que puede posicionarse como una alternativa **competitiva** frente a productos importados y/o tradicionales del medio local, aportando **valor económico, social y ambiental** al municipio de Soacha.

Pilares corporativos

- ***Misión***

Convertir residuos PET del municipio de Soacha en filamento reciclado para impresión 3D, favoreciendo al desarrollo económico local, la economía circular y el acceso a materiales innovadores de calidad para nuestros clientes.

- ***Visión***

Para el año 2030, consolidarnos como una planta de referencia nacional en la producción de filamento 3D reciclado, destacándonos por nuestro compromiso ambiental, la innovación tecnológica y el impacto positivo en las comunidades, posicionándonos a nivel local como un modelo de sostenibilidad productiva.

Valores Corporativos

- **Sostenibilidad:** Promovemos la reutilización de materiales como eje central de nuestras decisiones.
- **Innovación:** Aplicamos tecnología para crear soluciones prácticas y responsables.
- **Compromiso social:** Trabajamos por el bienestar del entorno local, generando empleo y conciencia ambiental.
- **Calidad:** Garantizamos un producto confiable, competitivo y alineado con estándares técnicos.
- **Transparencia:** Actuamos con ética, responsabilidad y apertura hacia nuestros aliados y clientes.

Objetivos estratégicos

- **Implementar** una planta piloto en Soacha para la producción de filamento 3D a partir de PET reciclado, utilizando tecnología adecuada y sostenible.

- **Aprovechar** el potencial de recolección local de residuos PET, generando una cadena de valor que involucre recicladores, y emprendedores.
- **Posicionar** el producto como una alternativa ecológica y accesible frente a los filamentos vírgenes o importados, destacando su origen reciclado.
- **Fomentar** el uso de la impresión 3D en sectores creativos e industriales, promoviendo soluciones más eficientes y responsables con el ambiente.
- **Contribuir** a la economía circular mediante procesos de transformación de residuos plásticos que siembren un valor económico y social a nivel local.

Mapa de procesos

Figura 63 Mapa de procesos



Fuente: Elaboración propia

Procesos estratégicos

Estos procesos guían la dirección de la organización, se centran en la toma de decisiones de alto nivel y aseguran la competitividad y cumplimiento de objetivos en el largo plazo.

- ***Planificación estratégica***

Define la visión, misión y objetivos de la empresa. Implica un análisis situacional del mercado en Soacha, estableciendo metas, identificando oportunidades de mejora y desarrollar planes que guíen el cumplimiento de la estrategia organizacional.

- ***Gestión de finanzas y recursos***

Se encarga de la planificación y administración eficiente de los recursos económicos. Incluye presupuestos, control de gastos y costos referentes a la fabricación del filamento, análisis financiero, y aseguramiento de la sostenibilidad económica.

- ***Monitoreo y evaluación del desempeño***

Consiste en medir y analizar el rendimiento organizacional y de los procesos clave, se emplean indicadores clave de desempeño (KPI), auditorías internas y análisis de resultados del ejercicio con el propósito de tomar decisiones basadas en datos.

- ***Gestión de sostenibilidad y responsabilidad social empresarial***

Integra prácticas que promueven el cuidado del medio ambiente durante el proceso de fabricación del filamento y el control de desperdicios, la ética y el compromiso con el municipio, con un enfoque de economía circular.

Procesos misionales

Son los procesos clave que agregan valor al producto, representan el núcleo del negocio de fabricación de filamento de impresión 3D a partir de tereftalato de polietileno reciclado.

Abastecimiento

Inicia la cadena productiva, asegurando el insumo base: tereftalato de polietileno reciclado.

- ***Recopilación y Clasificación del PET posconsumo***

Se hace el recibimiento del material clasificado por centros de acopio. Luego se clasifican por color (transparente, verde, azul, ámbar) y grado de contaminación.

- ***Acondicionamiento para Extrusión***

Incluye los procesos de lavado, secado y triturado. El objetivo es dejar el material listo para fundirse en la extrusora sin comprometer la calidad.

Producción

Transforma el insumo reciclado en producto final: filamento.

- ***Extrusión de Filamento***

El plástico acondicionado se funde y se extruye en hilos de diámetro de 1.75 mm. Se controla temperatura, velocidad de extrusión y calibración de la extrusora.

- ***Control de Calidad en la Producción de Filamento***

Incluye inspecciones visuales, mediciones de diámetro, pruebas de resistencia y pureza, para garantizar que el producto cumpla con los estándares técnicos y de impresión 3D.

Distribución

Asegura que el producto llegue correctamente al cliente final.

- ***Embalaje y Almacenaje de Filamento***

El filamento se embobina, etiqueta, embala y se almacena bajo condiciones que previenen la humedad hasta el proceso de distribución.

- ***Distribución y Logística***

Incluye el transporte del producto hacia clientes finales, buscando eficiencia y puntualidad.

- ***Atención al Cliente y Soporte Postventa***

Manejo de consultas, devoluciones, asesoría técnica y resolución de problemas. Aumenta la fidelización del cliente y permite retroalimentación para mejorar la calidad del producto.

Procesos de Apoyo

Sostienen a los procesos misionales y estratégicos, proporcionando recursos, infraestructura, soporte técnico y humano.

- ***Gestión de Recursos Humanos***

Reclutamiento, formación, desarrollo y bienestar del personal. Promueve la motivación, seguridad laboral y el crecimiento del talento humano.

- ***Gestión de Proveedores***

Selección, evaluación y mantenimiento de relaciones con centros de acopio confiables para el abastecimiento de materia prima de calidad, además de establecer relaciones solidas con proveedores de maquinaria asegurando soporte técnico adecuado, además de los aliados logísticos cuya función será facilitar la oportuna distribución del filamento a los clientes

- ***Gestión de Tecnología***

Asegura el mantenimiento, innovación y actualización de. Es vital para la eficiencia del proceso de extrusión y control de calidad.

- ***Gestión de Marketing y Comunicación***

Posiciona la marca, promociona productos, gestiona canales de venta y genera conciencia sobre el valor del reciclaje y la sostenibilidad del producto.

- **Gestión de Infraestructura y Mantenimiento**

Garantiza la disponibilidad y operatividad de las instalaciones, equipos y redes eléctricas/mecánicas. Abarca el mantenimiento preventivo y correctivo.

Diagrama de cadena de valor

Figura 64 Diagrama de Cadena de Valor



Fuente: Elaboración propia

El diseño de la **cadena de valor** del proyecto responde a un marco estratégico que busca maximizar el uso de los recursos locales, reducir el impacto ambiental y fortalecer el tejido económico en el municipio.

Las **principales actividades**, desde el acondicionamiento del material hasta la posventa, se establecen con un foco en la **producción sostenible**, abordando no sólo la trazabilidad del producto, sino también su posicionamiento competitivo como **alternativa local** a los filamentos vírgenes o importados. Las actividades de apoyo, a su vez, fortalecen la capacidad operativa del proyecto,

desde el desarrollo tecnológico hasta la gestión del talento humano, asegurando la escalabilidad, la eficiencia y la conexión con los **grupos de interés**.

En general, el diagrama visualiza cómo se genera y se mantiene el valor en cada etapa del **proceso**, integrando factores sociales, económicos y ambientales. Esta visión **holística** es esencial para apoyar la **viabilidad técnica** del proyecto y su potencial de impacto positivo, tanto en términos de **competitividad** como de **desarrollo local**.

Actividades principales

1. Acondicionamiento de materiales

- *Actividad:* Recolección, selección y almacenamiento de PET reciclado en Soacha.
- *Valor estratégico:* Promueve la economía circular local y reduce la dependencia de insumos externos, asegurando la trazabilidad y el bajo impacto ambiental desde el inicio de la cadena productiva.

2. Proceso de fabricación

- *Actividades:* limpieza, rectificado, extrusión, enfriamiento, bobinado y control de calidad del filamento 3D.
- *Valor estratégico:* transforma residuos en productos de alto valor mediante procesos tecnológicamente eficientes, estandarizados y amigables con el medio ambiente.

3. Marketing y ventas

- *Actividades:* Diseño e implementación de estrategias de comercialización de filamentos 3D, incluyendo canales digitales, ferias tecnológicas y alianzas institucionales.
- *Valor estratégico:* permite la penetración en mercados emergentes en fabricación aditiva con una propuesta de valor diferenciada (sostenible, local y competitiva), respaldada por una comunicación efectiva y dirigida.

4. Servicio posventa

- *Actividades:* Capacitación, asistencia técnica y atención al cliente en la utilización de filamentos reciclados.
- *Valor estratégico:* Incrementar la fidelización, reducir errores de aplicación y fomentar una comunidad de clientes responsables y alineados con los principios de sostenibilidad.

Actividades de apoyo

1. Gestión de compras y alianzas para acopio del PET reciclado

- *Actividades:* Creación de alianzas con proveedores locales.
- *Valor estratégico:* fortalece las redes productivas locales, asegura un flujo constante de materias primas y genera un impacto social positivo a través de la inclusión laboral y la colaboración multisectorial.

2. Desarrollo tecnológico en máquinas y procesos

- *Actividades:* Implementación de tecnologías de procesamiento de PET, automatización de procesos y colaboración con centros tecnológicos o universidades.
- *Valor estratégico:* mejora la productividad, reduce costes, promueve la innovación y aumenta la calidad del producto final, posicionando el proyecto como referente técnico en la economía circular.

3. Infraestructura organizacional y estrategia comercial

- *Actividades:* Gestión administrativa, planificación estratégica, alianzas comerciales y seguimiento mediante indicadores clave de desempeño (KPI).
- *Valor estratégico:* apoya el crecimiento, la escalabilidad y la coordinación con los actores regionales, asegurando la eficiencia operativa y la adaptabilidad del modelo de negocio.

4. Gestión del talento humano y formación técnica

- *Actividades:* Capacitación de personal, desarrollo de capacidades técnicas y promoción de una cultura organizacional enfocada en la innovación y la sostenibilidad.
- *Valor estratégico:* promueve el empleo decente, desarrolla el talento local y fortalece la competitividad del equipo humano, factor clave para el éxito operativo del proyecto.

Ventaja competitiva del proyecto

La principal ventaja competitiva de este proyecto se resume en su **enfoque integral**, que envuelve la sostenibilidad ambiental, desarrollo local e innovación tecnológica. Al convertir residuos PET recolectados en Soacha en filamento para impresión 3D, la propuesta no solo responde a una problemática ambiental urgente, sino que asimismo estimula un **modelo productivo** alternativo basado en la economía circular. Esta planta, al operar cerca de Bogotá, tendría acceso transcendental **a mercados emergentes** en filamentos para la impresión 3D, reduciendo costos logísticos y también dando cabida al impulso de una **articulación** en los ciclos productivos a **nivel regional**.

8.3.3. Análisis de viabilidad económica

Costo unitario de producción

Para la primera etapa del estudio de viabilidad económica, resulta fundamental determinar el **costo de producción unitario**, ya que este indicador permite proyectar el **precio mínimo de venta** al cual debe comercializarse el filamento. Para ello, se identificaron los **costos fijos**, que incluyen el canon de arrendamiento del espacio, los salarios del personal y los servicios públicos; así como los **costos variables**, entre los que se encuentran la materia prima, el consumo energético por unidad producida, los insumos de producción y los

costos logísticos. A continuación, se presentan los datos recopilados para el análisis.

Tabla 14 Costo unitario de producción

Costos Fijos			
Categoría	valor mensual	valor hora	Costo por kilo
Arriendo de espacio	\$ 14.000.000	\$ 19.440	\$ 777
Servicios públicos			
Categoría	Consumo por tonelada de plástico	Consumo por kilo	Costo por kilo
Consumo de agua en proceso de acondicionamiento	1500 litros	1,5 litros	\$ 5,25
Consumo de agua en proceso de extrusión	41,6 litros	0,041 litros	\$ 0,01
Consumo energético en planta de acondicionamiento	600 KW/h	0,6 KW/h	\$ 510,00
Consumo energético en planta de extrusión	600 KW/h	0,6 KW/h	\$ 510,00
Consumo energético en selladora al vacío	30 KW/h	0,03 KW/h	\$ 25,50
Costos operativos			
Mano de obra directa	40 h (11 personas)	0,04 h	\$ 3.037,76
Costos variables			
Categoría	Unidad de comercialización	Costo de unidad de comercialización	Costo por kilo
Plástico PET compactado	Pacas compactas de 300 kg	\$ 112.500,00	\$ 375,00
Carrete	Pack de 84 piezas	\$ 1.550.000,00	\$ 18.452,00
Bolsas para sellado al vacío	Rollo de 3 m (10 bolsas 30cm * 30cm)	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
Caja	Pack de 50 cajas	\$ 170.500,00	\$ 3.400,00
Detergente industrial	Bidón de 20 litros	\$ 137.000,00	\$ 34,25
Costos logísticos			
Coste de envío a cliente final			\$ 15.000,00
Total			\$ 47.101,27

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene en cuenta el canon de arrendamiento de la bodega caracterizada de \$14.000.000 COP Para los servicios públicos asociados a la producción de un solo kilogramo de filamento de impresión 3D, se estandarizaron los consumos de agua y energía eléctrica con base en el tratamiento de una tonelada de material reciclado en la planta de acondicionamiento, así como de una tonelada de escamas de PET procesado. Estos datos se obtuvieron a partir de fichas

técnicas o información suministrada directamente por los proveedores. En cuanto al consumo de agua, se estima que el proceso de acondicionamiento del material requiere aproximadamente **1.500 litros** (equivalente a 1,5 toneladas) de agua por cada tonelada de material reciclado.

Figura 65 Consumos de planta de acondicionamiento

Consumo energético unitario	
Contenido	Consumo medio de energía por tonelada de botella
Electricidad	180-250KW
Agua	1,5-3T
Aire comprimido	0,5-1m ³
Vapor (opcional)	0-100KG
Detergente (opcional)	0-5KG

Nota: los valores están dados para distintas líneas de tratamiento con mayor capacidad, se tomarán los datos más bajos ya están dados para la planta de menor capacidad (la cotizada)

Fuente: Recuperado de 500-2000kg/h Pet Plastic Bottles Crushing Washing Drying Recycling Washing Line (n.d.)

Con base en lo anterior, se requiere 1,5 litros de agua para tratar un kilogramo de material reciclado. Para la planta de extrusión de filamento, el consumo de agua es casi despreciable, ya que solo se utilizan dos tanques para el enfriamiento del filamento, con una capacidad total aproximada de 30 litros. Esta agua puede estimarse que necesita ser reemplazada después de cada tres turnos de operación, lo que representa un consumo aproximado de 41 litros de agua para enfriar una tonelada de filamento. Esto equivale a un consumo aproximado de 0,041 litros de agua por kilogramo de filamento. Estos consumos están basados en un costo promedio de **3.500 COP** por metro cúbico de agua en el municipio de Soacha, abastecido por el Acueducto de Bogotá.

Para el consumo energético se realizó el mismo procedimiento: se estandarizó el consumo por tonelada de material tratado para luego calcular el consumo por

kilogramo. Como datos de referencia, la planta de acondicionamiento consume un promedio de **180 kW/h**; la extrusora, **15 kW/h**; y la selladora al vacío, **0,9 kW/h**. Proyectando estos datos a la capacidad de cada máquina se obtuvo lo siguiente:

- La planta de acondicionamiento, con una capacidad de **300 kg/h**, requiere **3,33 horas** para procesar una tonelada de material, lo que representa un consumo energético de aproximadamente 600 kW/h.
- La planta de extrusión, con una capacidad de **25 kg/h**, necesita **40 horas** para tratar una tonelada de filamento, con un consumo también de **600 kW/h**.
- La selladora, con una capacidad de **30 kg/h**, requiere **33,33 horas** para sellar una tonelada de filamento, lo que equivale a un consumo de **30 kW/h**.

Para estos cálculos se consideró un costo promedio de **850 COP** por kW/h. Finalmente, para estimar el costo unitario de fabricación se tuvo en cuenta la mano de obra directa, correspondiente a las 11 personas necesarias para producir un kilogramo de filamento y el promedio de sus salarios. Cabe aclarar que dos de los tres turnos reciben **1 SMMLV** más el auxilio de transporte, mientras que el turno nocturno incluye el recargo del 35% por trabajo nocturno, lo que deja su salario base en **1.921.725 COP**, más un auxilio de transporte de **200.000 COP**. Esta información se basó en datos del Ministerio de Trabajo y fue recopilada por el portal *Ámbito jurídico*. Además, se incluyeron los insumos necesarios para el embalaje y empaquetado del filamento, tal como se detalla en la tabla anterior. Adicionalmente, como lo establece el estudio de mercado, resulta necesario caracterizar el **costo de envío hasta el cliente final**, ya que, desde la percepción del público general, el **envío gratuito** resulta mucho más atractivo, incentivando así las ventas. Esta es la razón por la cual se considera pertinente incluir dicho costo dentro de los **costos de producción unitarios**. Para ello, se caracterizó el precio promedio de los envíos tanto al interior del municipio de Soacha como hacia Bogotá, además de zonas más alejadas del país como Cartagena y Barranquilla, ciudades representativas de la región

Caribe colombiana. Esta caracterización se realizó utilizando el cotizador de precios de **Servientrega**. A continuación, se presenta la **ponderación de estos precios**:

Tabla 15 Ponderado de costos de envío según región

Lugar de destino	Costo de envío asociado
Cartagena	\$ 28.000
Barranquilla	\$ 16.000
Medellín	\$ 16.000
Soacha	\$ 7.900
Bogotá	\$ 7.900

Fuente: Elaboración propia basado en información reportada por Servientrega en su portal web.

La ponderación de estos precios resulta en \$ 15.000 COP de precio estimado de envío por carrete de filamento de impresión. Obteniendo así un costo unitario de producción de **47.101 COP** por kilogramo de filamento.

Estudio de opciones crediticias para la inversión inicial

Tabla 16 Tasas de interés para créditos de libre inversión

Banco	Tasa de interés mes vencido	Tasa de interés efectivo anual	Plazo máximo
BANCOLOMBIA	1,84%	24,46%	84 meses
BANCO DE BOGOTÁ	1,90%	25,34%	72 meses
BBVA	1,84%	24,46%	60 meses
BANCO CAJA SOCIAL	1,90%	25,34%	60 meses

Fuente: Elaboración propia basado en información reportada por cada banco en su portal web.

Para iniciar la operación de la planta se prevé obtener un crédito a libre inversión por **\$200.000.000 COP**. Este préstamo cubrirá parte de la compra de maquinaria y equipo, así como los costos relacionados con el transporte e importación de estos equipos, el primer mes de arriendo del inmueble, la adquisición de materia prima inicial y otros gastos operativos principales para el

inicio del proyecto. Además, se planea una inversión con capital propio por un valor de **\$52.350.000 COP**, principalmente para cubrir una parte en la compra de maquinaria.

Para seleccionar la entidad financiera más adecuada, se analizaron cuatro bancos presentes en el mercado, teniendo en cuenta variables como el tipo de interés ofrecido y el plazo máximo, para así con esto elegir las opciones con menor tasa de interés, que en este caso serían las de, Bancolombia y BBVA

Caracterización de ingresos y egresos asociados al proyecto

Tabla 17 Resumen de datos para análisis de viabilidad

Datos		
Unidades vendidas por año		144000
Precio de venta	\$	70.000
Costo variable	\$	47.101
Gastos fijos	\$	850.835.700
Inversión en maquinaria	\$	174.500.000
Inversión en equipo	\$	-
Inversión en vehículos	\$	-
Inversión en capital de trabajo	\$	52.350.000
Costo del pasivo Ki		24%
Costo del patrimonio Ke		22%
Imporenta		35%

Fuente: Elaboración propia.

Se proyecta una producción mensual de 12000 kilogramos de filamento de impresión 3D teniendo en cuenta que se proyecta una producción de 25 kg/ h de filamento en tres turnos de 8 horas, 5 días a la semana.

Para la proyección de ingresos todos los datos se manejarán en una proporción anual, donde se estima un precio de venta final de **\$ 70.000 COP**, este precio contempla el costo de producción unitario de **\$ 47.101 COP** y un margen de utilidad del 32%, margen suficiente para la rentabilidad del proyecto, los costos fijos se desglosan de la siguiente manera: **14.000.000 COP** mensuales de canon de arrendamiento, **\$ 12.827.000 COP** en servicios públicos según consumo energético y de agua por mes:

Tabla 18 Valor servicio del agua

Maquinaria	Consumo de agua mensual	valor del metro cubico de agua	Valor de servicio de agua
Planta de acondicionamiento	4500 Litros	\$ 3.500	\$ 15.750,00
Planta de extrusión	482 Litros	\$ 3.500	\$ 1.722,00
Total			\$ 17.472

Fuente: Elaboración propia.

Se estima el consumo medio mensual de agua tomando como referencia el costo ponderado del metro cúbico en Bogotá, dado que el municipio de Soacha es abastecido por el Acueducto de Bogotá. Este costo se encuentra alrededor de **3.500 COP** por metro cúbico, lo que permite calcular un consumo aproximado de **17.472 COP** mensuales únicamente por el uso de las máquinas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que a este valor deben sumarse otros cargos asociados al servicio, como el alcantarillado, cuyo costo ronda los **60.000 COP** mensuales. Además, esta estimación contempla únicamente el consumo operativo de las máquinas, sin considerar posibles desperdicios, el uso de sanitarios por parte del personal ni el aseo general de las áreas de trabajo, factores que podrían incrementar significativamente el costo total del servicio de agua.

Para el consumo energético se realizó el mismo ejercicio, se estimó el consumo mensual de energía por máquina multiplicándolo por el costo del KW/h para el municipio que es de alrededor de \$ 850 COP por KW/h obteniendo los siguientes datos:

Tabla 19 Valor del servicio energético

Maquinaria	Consumo de electricidad mensual	valor del KW/h	Valor de servicio de electricidad
Planta de acondicionamiento	7200 KW/h	\$ 850	\$ 6.120.000,00
Planta de extrusión	7200 KW/h	\$ 850	\$ 6.120.000,00
Selladora	432 KW/h	\$ 850	\$ 367.200,00
Total			\$ 12.607.200

Fuente: Elaboración propia.

El **consumo energético** y su correspondiente costo representan un componente significativo dentro de los egresos operativos, estimándose en **12.607.200 COP mensuales**. Es importante aclarar que esta cifra no contempla el consumo asociado a la **iluminación de la planta**, los **equipos de cómputo**, ni otros posibles consumos eléctricos complementarios.

Para una adecuada proyección financiera, se realiza la estimación de los **costos anuales**, los cuales incluyen: el canon de arrendamiento (\$ 14.000.000 COP), los salarios del personal, y los servicios públicos. En conjunto, estos elementos configuran los **costos fijos anuales de operación** de la planta, que ascienden a **850.845.700 COP**.

Adicionalmente, se consideran otros factores clave como:

- La **inversión en maquinaria**.
- La **inversión en capital de trabajo**, que contempla el pago del **30% de los equipos mediante aportes propios**.
- El **costo del crédito**, proyectado con una tasa del **24,46% E.A.**
- El **costo del patrimonio**, con una tasa del **21,9%**, según lo indicado por Corfi Colombiana (2025).
- La **tasa del impuesto de renta**, correspondiente al **35%** para el año **2025**.

Estos elementos completan la estructura de datos necesaria para el análisis financiero y la construcción del flujo de caja del proyecto.

Proyección de inflación para los próximos 10 años

Para hacer una estimación de los ingresos del proyecto en un horizonte de diez años, se utilizó como referencia la tasa de inflación histórica registrada en Colombia durante la última década según el Banco Mundial (2025). A partir de los datos recolectados y mediante estadística simple, se calculó un promedio, arrojando como resultado una tasa de inflación anual de 5,5%, que sirvió como base para ajustes a futuras proyecciones. Este enfoque permite mantener el

valor real de los ingresos esperados, teniendo en cuenta el desempeño económico reciente del país.

Tabla 20 Inflación en Colombia de la última década

2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
2,9%	5,0%	7,5%	4,3%	3,2%	3,5%	2,5%	3,5%	10,2%	11,7%	6,6%

Fuente: Elaboración propia basado en datos del Banco Mundial.

Proyección estado de resultados

En el flujo a continuación se presenta la proyección del estado de resultados para los próximos 10 años, teniendo en cuenta una proyección ponderada de inflación del 5,5% para el mismo periodo. Este flujo contempla un escenario optimista, en el que se vende la totalidad de la producción a un precio de venta de \$70.000 COP.

Entre los datos relevantes para el primer año cuando se realiza el montaje del proyecto se destacan una utilidad neta de \$1.501.784.384 COP y una rentabilidad del activo superior al 600%.

Si bien estas cifras corresponden a un escenario ideal, reflejan una sólida viabilidad económica que respalda la inversión en maquinaria y demás aspectos necesarios para la puesta en funcionamiento de la planta de fabricación de filamento. Además, se observa una tendencia constante de crecimiento tanto en utilidades como en rentabilidad a lo largo del periodo proyectado.

Tabla 21 Proyección de estado de resultados para los próximos diez años

Flujo de efectivo	Año										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	\$ 10.080.000,00	\$ 10.634.400,00	\$ 11.219.292,00	\$ 11.836.353,06	\$ 12.487.352,47	\$ 13.174.156,86	\$ 13.898.735,49	\$ 14.663.165,94	\$ 15.469.640,07	\$ 16.320.470,27	\$ 17.255.000,00
Costos	\$ 6.782.582,88	\$ 7.155.624,93	\$ 7.549.184,31	\$ 7.964.389,47	\$ 8.402.430,86	\$ 8.864.564,56	\$ 9.352.115,61	\$ 9.866.481,97	\$ 10.409.138,48	\$ 10.981.641,09	\$ 11.583.829,17
Utilidad bruta	\$ 3.297.417,12	\$ 3.478.775,06	\$ 3.670.107,68	\$ 3.871.963,61	\$ 4.084.921,61	\$ 4.309.592,30	\$ 4.546.619,87	\$ 4.796.683,97	\$ 5.060.501,58	\$ 5.338.829,17	\$ 5.631.170,83
Gastos	\$ 850.835,70	\$ 897.631,66	\$ 947.001,40	\$ 999.086,48	\$ 1.054.036,23	\$ 1.112.008,23	\$ 1.173.168,68	\$ 1.237.692,96	\$ 1.305.766,07	\$ 1.377.583,20	\$ 1.453.400,00
Gastos deprec. maquinaria	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00
Gastos deprec. Equipo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos deprec. vehículos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad operacional EBITDA	\$ 2.429.131,42	\$ 2.563.693,39	\$ 2.705.656,28	\$ 2.855.427,13	\$ 3.013.435,37	\$ 3.180.134,06	\$ 3.356.001,19	\$ 3.541.541,00	\$ 3.737.285,51	\$ 3.943.795,96	\$ 4.166.395,83
Otros ingresos no operac	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Otros egresos no operac	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad antes de int e imp UAI	\$ 2.429.131,42	\$ 2.563.693,39	\$ 2.705.656,28	\$ 2.855.427,13	\$ 3.013.435,37	\$ 3.180.134,06	\$ 3.356.001,19	\$ 3.541.541,00	\$ 3.737.285,51	\$ 3.943.795,96	\$ 4.166.395,83
Intereses	\$ 41.770,13	\$ 35.746,27	\$ 28.248,98	\$ 18.917,85	\$ 7.304,32	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad antes de imp UAI	\$ 2.387.361,28	\$ 2.527.947,11	\$ 2.677.407,29	\$ 2.836.509,27	\$ 3.006.131,04	\$ 3.180.134,06	\$ 3.356.001,19	\$ 3.541.541,00	\$ 3.737.285,51	\$ 3.943.795,96	\$ 4.166.395,83
Impoenta 35%	\$ 835.576,44	\$ 884.781,49	\$ 937.092,55	\$ 992.778,24	\$ 1.052.145,86	\$ 1.113.046,92	\$ 1.174.600,41	\$ 1.239.539,35	\$ 1.308.049,92	\$ 1.380.328,58	\$ 1.456.400,00
Utilidad neta	\$ 1.551.784,83	\$ 1.643.165,62	\$ 1.740.314,74	\$ 1.843.731,02	\$ 1.953.985,17	\$ 2.067.087,14	\$ 2.181.400,77	\$ 2.302.001,65	\$ 2.429.235,58	\$ 2.563.467,37	\$ 2.709.995,83
Depreciación de maquinaria	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00	\$ 17.450,00
Depreciación del equipo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Depreciación de vehículos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión en maquinaria	\$ -174.500,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión en equipo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión en vehículos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión en capital de trabajo	\$ -52.350,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de caja de operación	-\$ 226.850,00	\$ 1.569.234,83	\$ 1.660.615,62	\$ 1.757.764,74	\$ 1.861.181,02	\$ 1.971.435,17	\$ 2.084.537,14	\$ 2.198.850,77	\$ 2.319.451,65	\$ 2.446.685,58	\$ 2.580.917,37
Flujo de caja acumulado	-\$ 226.850,00	\$ 1.342.384,83	\$ 3.003.000,46	\$ 4.760.765,20	\$ 6.621.946,23	\$ 8.593.381,41	\$ 10.677.918,55	\$ 12.876.769,32	\$ 15.196.220,97	\$ 17.642.906,51	\$ 20.223.823,88
Flujo de caja descontado	-\$ 226.850,00	\$ 1.340.090,14	\$ 1.211.047,72	\$ 1.094.709,67	\$ 989.858,01	\$ 895.391,28	\$ 808.511,25	\$ 728.313,32	\$ 656.075,62	\$ 591.007,25	\$ 532.396,04
Flujo de caja descontado acumulado	-\$ 226.850,00	\$ 1.113.240,14	\$ 2.324.287,88	\$ 3.418.997,58	\$ 4.408.855,59	\$ 5.304.246,88	\$ 6.112.758,13	\$ 6.841.071,46	\$ 7.497.147,08	\$ 8.088.154,34	\$ 8.620.550,38
Rentabilidad del activo	622%	658%	697%	738%	781%	826%	871%	919%	970%	1023%	1081%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla de amortización

Tabla 22 Tabla de amortización

Numero de Cuota	Saldo Inicial	Valor cuota	Interés	Abono a Capital	Saldo Final
1	\$ 200.000.000	\$ 5.533.126,43	\$ 3.680.356,00	\$ 1.852.770,43	\$ 198.147.229,57
2	\$ 198.147.229,57	\$ 5.533.126,43	\$ 3.646.261,73	\$ 1.886.864,70	\$ 196.260.364,87
3	\$ 196.260.364,87	\$ 5.533.126,43	\$ 3.611.540,06	\$ 1.921.586,37	\$ 194.338.778,50
4	\$ 194.338.778,50	\$ 5.533.126,43	\$ 3.576.179,45	\$ 1.956.946,98	\$ 192.381.831,52
5	\$ 192.381.831,52	\$ 5.533.126,43	\$ 3.540.168,14	\$ 1.992.958,29	\$ 190.388.873,23
6	\$ 190.388.873,23	\$ 5.533.126,43	\$ 3.503.494,16	\$ 2.029.632,27	\$ 188.359.240,96
7	\$ 188.359.240,96	\$ 5.533.126,43	\$ 3.466.145,31	\$ 2.066.981,11	\$ 186.292.259,85
8	\$ 186.292.259,85	\$ 5.533.126,43	\$ 3.428.109,18	\$ 2.105.017,25	\$ 184.187.242,60
9	\$ 184.187.242,60	\$ 5.533.126,43	\$ 3.389.373,12	\$ 2.143.753,31	\$ 182.043.489,29
10	\$ 182.043.489,29	\$ 5.533.126,43	\$ 3.349.924,24	\$ 2.183.202,19	\$ 179.860.287,10
11	\$ 179.860.287,10	\$ 5.533.126,43	\$ 3.309.749,43	\$ 2.223.376,99	\$ 177.636.910,11
12	\$ 177.636.910,11	\$ 5.533.126,43	\$ 3.268.835,34	\$ 2.264.291,09	\$ 175.372.619,02
13	\$ 175.372.619,02	\$ 5.533.126,43	\$ 3.227.168,35	\$ 2.305.958,07	\$ 173.066.660,94
14	\$ 173.066.660,94	\$ 5.533.126,43	\$ 3.184.734,62	\$ 2.348.391,81	\$ 170.718.269,14
15	\$ 170.718.269,14	\$ 5.533.126,43	\$ 3.141.520,03	\$ 2.391.606,40	\$ 168.326.662,74
16	\$ 168.326.662,74	\$ 5.533.126,43	\$ 3.097.510,22	\$ 2.435.616,21	\$ 165.891.046,53
17	\$ 165.891.046,53	\$ 5.533.126,43	\$ 3.052.690,54	\$ 2.480.435,89	\$ 163.410.610,64
18	\$ 163.410.610,64	\$ 5.533.126,43	\$ 3.007.046,11	\$ 2.526.080,32	\$ 160.884.530,32
19	\$ 160.884.530,32	\$ 5.533.126,43	\$ 2.960.561,73	\$ 2.572.564,70	\$ 158.311.965,62
20	\$ 158.311.965,62	\$ 5.533.126,43	\$ 2.913.221,96	\$ 2.619.904,47	\$ 155.692.061,16
21	\$ 155.692.061,16	\$ 5.533.126,43	\$ 2.865.011,06	\$ 2.668.115,37	\$ 153.023.945,79
22	\$ 153.023.945,79	\$ 5.533.126,43	\$ 2.815.912,98	\$ 2.717.213,44	\$ 150.306.732,35
23	\$ 150.306.732,35	\$ 5.533.126,43	\$ 2.765.911,42	\$ 2.767.215,01	\$ 147.539.517,34
24	\$ 147.539.517,34	\$ 5.533.126,43	\$ 2.714.989,74	\$ 2.818.136,69	\$ 144.721.380,65
25	\$ 144.721.380,65	\$ 5.533.126,43	\$ 2.663.131,01	\$ 2.869.995,42	\$ 141.851.385,23
26	\$ 141.851.385,23	\$ 5.533.126,43	\$ 2.610.317,98	\$ 2.922.808,44	\$ 138.928.576,79
27	\$ 138.928.576,79	\$ 5.533.126,43	\$ 2.556.533,11	\$ 2.976.593,32	\$ 135.951.983,46
28	\$ 135.951.983,46	\$ 5.533.126,43	\$ 2.501.758,49	\$ 3.031.367,94	\$ 132.920.615,53
29	\$ 132.920.615,53	\$ 5.533.126,43	\$ 2.445.975,92	\$ 3.087.150,50	\$ 129.833.465,02
30	\$ 129.833.465,02	\$ 5.533.126,43	\$ 2.389.166,86	\$ 3.143.959,57	\$ 126.689.505,46
31	\$ 126.689.505,46	\$ 5.533.126,43	\$ 2.331.312,41	\$ 3.201.814,02	\$ 123.487.691,44
32	\$ 123.487.691,44	\$ 5.533.126,43	\$ 2.272.393,33	\$ 3.260.733,10	\$ 120.226.958,34
33	\$ 120.226.958,34	\$ 5.533.126,43	\$ 2.212.390,04	\$ 3.320.736,39	\$ 116.906.221,95
34	\$ 116.906.221,95	\$ 5.533.126,43	\$ 2.151.282,58	\$ 3.381.843,85	\$ 113.524.378,10
35	\$ 113.524.378,10	\$ 5.533.126,43	\$ 2.089.050,63	\$ 3.444.075,80	\$ 110.080.302,30
36	\$ 110.080.302,30	\$ 5.533.126,43	\$ 2.025.673,50	\$ 3.507.452,92	\$ 106.572.849,38
37	\$ 106.572.849,38	\$ 5.533.126,43	\$ 1.961.130,13	\$ 3.571.996,30	\$ 103.000.853,08
38	\$ 103.000.853,08	\$ 5.533.126,43	\$ 1.895.399,04	\$ 3.637.727,39	\$ 99.363.125,69
39	\$ 99.363.125,69	\$ 5.533.126,43	\$ 1.828.458,38	\$ 3.704.668,05	\$ 95.658.457,64
40	\$ 95.658.457,64	\$ 5.533.126,43	\$ 1.760.285,89	\$ 3.772.840,54	\$ 91.885.617,10
41	\$ 91.885.617,10	\$ 5.533.126,43	\$ 1.690.858,91	\$ 3.842.267,52	\$ 88.043.349,59
42	\$ 88.043.349,59	\$ 5.533.126,43	\$ 1.620.154,35	\$ 3.912.972,08	\$ 84.130.377,51
43	\$ 84.130.377,51	\$ 5.533.126,43	\$ 1.548.148,70	\$ 3.984.977,73	\$ 80.145.399,78
44	\$ 80.145.399,78	\$ 5.533.126,43	\$ 1.474.818,01	\$ 4.058.308,41	\$ 76.087.091,37
45	\$ 76.087.091,37	\$ 5.533.126,43	\$ 1.400.137,92	\$ 4.132.988,51	\$ 71.954.102,86
46	\$ 71.954.102,86	\$ 5.533.126,43	\$ 1.324.083,57	\$ 4.209.042,86	\$ 67.745.060,00
47	\$ 67.745.060,00	\$ 5.533.126,43	\$ 1.246.629,69	\$ 4.286.496,74	\$ 63.458.563,26
48	\$ 63.458.563,26	\$ 5.533.126,43	\$ 1.167.750,52	\$ 4.365.375,91	\$ 59.093.187,35
49	\$ 59.093.187,35	\$ 5.533.126,43	\$ 1.087.419,83	\$ 4.445.706,59	\$ 54.647.480,76
50	\$ 54.647.480,76	\$ 5.533.126,43	\$ 1.005.610,92	\$ 4.527.515,51	\$ 50.119.965,25
51	\$ 50.119.965,25	\$ 5.533.126,43	\$ 922.296,57	\$ 4.610.829,85	\$ 45.509.135,40
52	\$ 45.509.135,40	\$ 5.533.126,43	\$ 837.449,10	\$ 4.695.677,33	\$ 40.813.458,07
53	\$ 40.813.458,07	\$ 5.533.126,43	\$ 751.040,28	\$ 4.782.086,15	\$ 36.031.371,92
54	\$ 36.031.371,92	\$ 5.533.126,43	\$ 663.041,38	\$ 4.870.085,05	\$ 31.161.286,87
55	\$ 31.161.286,87	\$ 5.533.126,43	\$ 573.423,15	\$ 4.959.703,28	\$ 26.201.583,59
56	\$ 26.201.583,59	\$ 5.533.126,43	\$ 482.155,78	\$ 5.050.970,65	\$ 21.150.612,93
57	\$ 21.150.612,93	\$ 5.533.126,43	\$ 389.208,93	\$ 5.143.917,50	\$ 16.006.695,43
58	\$ 16.006.695,43	\$ 5.533.126,43	\$ 294.551,69	\$ 5.238.574,74	\$ 10.768.120,69
59	\$ 10.768.120,69	\$ 5.533.126,43	\$ 198.152,59	\$ 5.334.973,84	\$ 5.433.146,85
60	\$ 5.433.146,85	\$ 5.533.126,43	\$ 99.979,57	\$ 5.433.146,85	\$ 0,00

Fuente: Elaboración propia.

Para financiar parte del proyecto se planea un préstamo por COP \$ 200.000.000. Con base en información proporcionada por diversas instituciones bancarias, se estableció un plan de amortización, aplicando una tasa de interés mensual del 1.84% (equivalente a una tasa de interés anual del 24.4%) durante 60 meses, según un plan de cuotas fijas. Esta proyección financiera resulta en un pago mensual de COP 5.533.126,43, lo que permite una planificación clara de los pagos mensuales a lo largo de la duración del crédito.

Indicadores financieros

Tasa interna de oportunidad

Tabla 23 Método WACC

Clase	Monto	Est. Financ	Costo	Ponderado
Pasivo	\$ 200.000.000,00	80%	15,9%	12,7%
Patrimonio	\$ 52.350.000,00	20%	21,90%	4,4%
Activo	\$ 252.350.000,00			17,1%

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el costo de capital mediante el método WACC (*Weighted Average Cost of Capital*), se definió una estructura financiera dispuesta por un **80%** de pasivos y un **20%** de patrimonio propio. El **costo del capital (Ke)** se estimó en **21,90%**, de acuerdo con la información suministrada por Corfi colombiana (2025). Por su parte, el costo del pasivo se calculó aplicando la tasa efectiva anual del **24,46%** del préstamo para la operatividad del proyecto, considerando una tasa de impuesto de renta del **35%**. Esto resulta en un costo del pasivo (Kd) **15,9%**. Al aplicar estos valores, se consigue una (**TIO**) o WACC del **17,1%**.

Consolidado de indicadores financieros

Tabla 24 Indicadores financieros para escenario optimista

Indicador	Valor	Interpretación
VPN	\$ 8.620.550.387,84	Se recupera la inversión superando la tasa esperada con ingresos de \$8.620.550.387,84 COP
TIR	698%	El proyecto se acepta porque la tasa interna de retorno (TIR), supera a la tasa interés de oportunidad (TIO). Esto significa que el inversionista esperaba ganar al menos el 17,7% de utilidad, pero se generó el 698%
B/C	39,00	El proyecto se acepta porque la relación B/C>1 Significa que por cada peso invertido, se obtiene 39 pesos de ingreso neto.
VPN Ingresos	\$ 8.847.400.388	
VPN Egresos	\$ 226.850.000,00	
PRI Tradicional	0,145	La inversión se recupera en 1 mes y 22 días
Pri Descontado	0,169	La inversión se recupera en 2 meses y 1 día
CAUE	\$ 1.857.138.946,38	El proyecto es viable porque cada año se generan ingresos equivalentes a \$ 1.857.138.946,80 COP
ROA	615%	Por cada 100 pesos en activos se generaron 615 pesos de ganancia
ROE	2964%	Por cada 100 pesos que los socios invirtieron se generaron 2694 pesos
ROI	776%	Por cada 100 pesos de inversión se generaron 776 pesos
Rentabilidad	15%	Por cada 100 pesos que ingresan a la empresa, 15 representan utilidades.
Utilidad Neta	\$ 1.551.784.834,50	Para el primer año de operación la empresa genera ingresos netos de \$1.551.784.834 COP
Margen EBITDA	24%	Para el primer año de operación, por cada 100 pesos que ingresan a la empresa se genera una utilidad de 24 pesos antes de intereses, impuestos depreciaciones y amortizaciones para pagar impuestos, deudas, crecer y reportar utilidades
Punto de equilibrio		
Por unidades	37156,46	Para que el proyecto resulte rentable se deben vender mínimo 37156 kilogramos de filamento de impresión anualmente.
Por precio	\$ 53.009,85	Para que el proyecto resulte rentable se deben vender el filamento a un precio mínimo de \$ 53.009,85

Fuente: Elaboración propia.

Este análisis financiero del proyecto, que se basa en un escenario ideal en el que se venden **144.000** unidades al año a un precio de **\$ 70.000 COP** por unidad, muestra una rentabilidad muy buena y un rápido pago de la inversión. Este escenario supone una demanda constante y completa de toda la producción, sin tener en cuenta las fluctuaciones en el mercado ni las incertidumbres operativas.

Análisis de sensibilidad

Tabla 25 Análisis de sensibilidad de precio y unidades a comercializar

Precio	Unidades vendidas									
	\$ 8.620.550.387,84	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000
\$ 55.000,00		-\$ 2.916.678.033,34	-\$ 2.773.344.780,69	-\$ 2.630.011.528,03	-\$ 2.486.678.275,37	-\$ 2.343.345.022,71	-\$ 2.200.011.770,06	-\$ 2.056.678.517,40	-\$ 1.913.345.264,74	-\$ 1.770.012.012,08
\$ 60.000,00		-\$ 2.644.482.529,78	-\$ 2.410.417.442,60	-\$ 2.176.352.355,42	-\$ 1.942.287.268,24	-\$ 1.708.222.181,07	-\$ 1.474.157.093,89	-\$ 1.240.092.006,71	-\$ 1.006.026.919,53	-\$ 771.961.832,35
\$ 65.000,00		-\$ 2.372.287.026,22	-\$ 2.047.490.104,52	-\$ 1.722.693.182,82	-\$ 1.397.896.261,12	-\$ 1.073.099.339,42	-\$ 748.302.417,72	-\$ 423.505.496,02	-\$ 98.708.574,32	\$ 226.088.347,38
\$ 70.000,00		-\$ 2.100.091.522,65	-\$ 1.684.562.766,43	-\$ 1.269.034.010,21	-\$ 853.505.253,99	-\$ 437.976.497,77	-\$ 22.447.741,55	\$ 393.081.014,67	\$ 808.609.770,89	\$ 1.224.138.527,11
\$ 75.000,00		-\$ 1.827.896.019,09	-\$ 1.321.635.428,35	-\$ 815.374.837,61	-\$ 309.114.246,86	\$ 197.146.343,88	\$ 703.406.934,62	\$ 1.209.667.525,36	\$ 1.715.928.116,10	\$ 2.222.188.706,85
\$ 80.000,00		-\$ 1.555.700.515,53	-\$ 958.708.090,26	-\$ 361.715.665,00	\$ 235.276.760,26	\$ 832.269.185,53	\$ 1.429.261.610,79	\$ 2.026.254.036,05	\$ 2.623.246.461,31	\$ 3.220.238.886,58
\$ 85.000,00		-\$ 1.283.505.011,96	-\$ 595.780.752,18	\$ 91.943.507,60	\$ 779.667.767,39	\$ 1.467.392.027,17	\$ 2.155.116.286,96	\$ 2.842.840.546,74	\$ 3.530.564.806,53	\$ 4.218.289.066,31
\$ 90.000,00		-\$ 1.011.309.508,40	-\$ 232.853.414,09	\$ 545.602.680,21	\$ 1.324.058.774,52	\$ 2.102.514.868,82	\$ 2.880.970.963,13	\$ 3.659.427.057,43	\$ 4.437.883.151,74	\$ 5.216.339.246,04
\$ 95.000,00		\$ 739.114.004,84	\$ 130.073.923,99	\$ 999.261.852,82	\$ 1.868.449.781,64	\$ 2.737.637.710,47	\$ 3.606.825.639,30	\$ 4.476.013.568,12	\$ 5.345.201.496,95	\$ 6.214.389.425,78
\$ 100.000,00		-\$ 466.918.501,27	\$ 493.001.262,07	\$ 1.452.921.025,42	\$ 2.412.840.788,77	\$ 3.372.760.552,12	\$ 4.332.680.315,46	\$ 5.292.600.078,81	\$ 6.252.519.842,16	\$ 7.212.439.605,51
\$ 105.000,00		-\$ 194.722.997,71	\$ 855.928.600,16	\$ 1.906.580.198,03	\$ 2.957.231.795,90	\$ 4.007.883.393,77	\$ 5.058.534.991,63	\$ 6.109.186.589,50	\$ 7.159.838.187,37	\$ 8.210.489.785,24

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó el método de análisis de sensibilidad para evaluar la rentabilidad en diferentes escenarios de precio y volumen de producción. Este análisis permite identificar el punto en el que el proyecto genera pérdidas, se encuentra en equilibrio o comienza a generar ganancias significativas. En la matriz de sensibilidad, se analizaron combinaciones de precios unitarios entre \$ 55.000 COP y \$ 105.000 COP y niveles de producción anual entre 15.000 y 55.000 unidades.

Los resultados muestran que el proyecto comienza a mostrar una rentabilidad positiva y sostenida, con una producción de 35.000 unidades al año, teniendo en cuenta un rango de precios coherente con lo esperado por el público según lo caracterizado en el estudio de mercado de aproximadamente COP\$ 75.000 por unidad. A partir de este punto, la utilidad aumenta considerablemente, como se puede observar en las celdas de color verde.

también se caracteriza un escenario con el precio mínimo que genera utilidades que, según el análisis, que sería un precio de venta de \$65.000 COP con un volumen de ventas de 55.000 unidades al año.

Esta visión permite identificar los rangos críticos que garantizan la viabilidad financiera del proyecto.

Consolidado de indicadores para escenario pesimista

Tabla 26 Indicadores financieros para escenario pesimista

Indicador	Valor	Interpretación
VPN	\$ 393.081.014,67	Se recupera la inversión superando la tasa esperada con ingresos de \$393.081.014,67 COP
TIR	51%	El proyecto se acepta porque la tasa interna de retorno (TIR), supera a la tasa interés de oportunidad (TIO). Esto significa que el inversionista esperaba ganar al menos el 17,7% de utilidad, pero se generó el 51%
B/C	2,73	El proyecto se acepta porque la relación B/C>1 Significa que por cada peso invertido, se obtiene 2 pesos con 73 centavos de ingreso neto.
VPN Ingresos	\$ 619.931.015	
VPN Egresos	\$ 226.850.000,00	
PRI Tradicional	2,370	La inversión se recupera en 2 años, 4 meses y 13 días
Pri Descontado	2,776	La inversión se recupera en 2 años, 9 meses y 9 días
CAUE	\$ 84.682.071,17	El proyecto es viable porque cada año se generan ingresos equivalentes a \$ 1.857.138.946,80 COP
ROA	31%	Por cada 100 pesos en activos se generaron 31 pesos de ganancia
ROE	149%	Por cada 100 pesos que los socios invirtieron se generaron 149 pesos
ROI	39%	Por cada 100 pesos de inversión se generaron 39 pesos
Rentabilidad	2%	Por cada 100 pesos que ingresan a la empresa, 2 representan utilidades.
Utilidad Neta	\$ 78.251.559,00	Para el primer año de operación la empresa genera ingresos netos de \$78.251.559 COP
Margen EBITDA	5%	Para el primer año de operación, por cada 100 pesos que ingresan a la empresa se genera una utilidad de 5 pesos antes de intereses, impuestos depreciaciones y amortizaciones para pagar impuestos, deudas, crecer y reportar utilidades

Fuente: Elaboración propia.

Este análisis financiero del proyecto se plantea en un escenario mucho más conservador, donde se contempla la venta de **45.000 unidades anuales** a un precio de **\$70.000 COP**, sigue mostrando viabilidad, solo que más realista, con indicadores positivos, pero considerablemente más justos respecto al escenario óptimo. Esta proyección refleja una perspectiva más objetiva en la capacidad de ventas, teniendo en cuenta posibles variaciones de mercado, limitaciones de producción, o barreras comerciales que podrían afectar la comercialización total del producto.

8.4. Fase IV: Ruta para la puesta en marcha

8.4.1. Evaluación de impacto ambiental

En el contexto de los posibles impactos de la planta de producción de filamento PET reciclado. Se establecieron los componentes ambientales en tres grandes categorías: el **medio físico** (agua, aire, ruido, suelo, vibraciones, energía, paisaje y calidad del ambiente interior), el **medio natural** (flora y fauna local), y los factores **socioculturales** (empleo e ingresos, relaciones comunitarias, salud pública, movilidad, infraestructura y percepción del riesgo). Por su parte, también se precisaron las actividades clave de la planta, que corresponden a las etapas del **proceso productivo**, como la recolección y recepción de botellas, clasificación manual, lavado, triturado, secado, extrusión, enfriamiento, bobinado, manejo de residuos y transporte del producto.

Tabla 27 Evaluación de Magnitud (Leopold)

Magnitud			
Intensidad	Alteración	Calificación	
Baja	Baja	1	-1
Baja	Media	2	-2
Baja	Alta	3	-3
Media	Baja	4	-4
Media	Media	5	-5
Media	Alta	6	-6
Alta	Baja	7	-7
Alta	Media	8	-8
Alta	Alta	9	-9
Muy alta	Alta	10	-10

Nota. Adaptado de (*Matriz de Leopold | Ecoembes | TheCircularCampus*, n.d.)

La magnitud del impacto ambiental generado por cada actividad del proyecto considera las variables de: la intensidad del impacto y el nivel de alteración sobre el factor ambiental evaluado. La combinación de estas variables da como

resultado una calificación numérica que puede ir de +1 a +10 para impactos positivos (beneficiosos) y de -1 a -10 para impactos negativos (adversos).

Tabla 28 Evaluación de Importancia (Leopold)

Importancia			
Duración	Influencia	Calificación	
Temporal	Puntual	1	-1
Media	Puntual	2	-2
Permanente	Puntual	3	-3
Temporal	Local	4	-4
Media	Local	5	-5
Permanente	Local	6	-6
Temporal	Regional	7	-7
Media	Regional	8	-8
Permanente	Regional	9	-9
Permanente	Nacional	10	-10

Fuente: Adaptado de (*Matriz de Leopold | Ecoembes | TheCircularCampus*, n.d.)

La evaluación de la importancia del impacto se centra en dos criterios: la prolongación del efecto (**temporal, media o permanente**) y el nivel de influencia geográfica (**puntual, local, regional o nacional**). De estos factores se produce una calificación que también puede variar de +1 a +10 si el impacto es positivo o de -1 a -10 si es negativo.

Figura 66 Matriz Leopold

Componentes	Factores Ambientales	Acciones o Actividades del Proyecto											Interacciones		Sumatoria		
		Recolección y recepción de botellas	Clasificación manual	Lavado del PET	Triturado	Secado del PET	Extrusión	Enfriamiento del filamento	Bobinado y almacenamiento	Manejo de residuos sólidos y líquidos	Transporte del producto	Positivas	Negativas	Positivas	Negativas		
Medio físico	Agua	6/6	0/0	-6/3	0/0	0/0	0/0	-6/3	0/0	-6/3	0/0	0/0	1	3	6/6	18/9	
	Aire	1/1	-1/1	-2/1	-3/2	-4/2	-2/1	-1/3	0/0	-1/3	-4/10	1	8	1/1	18/23		
	Ruido	0/0	-1/1	-1/1	-6/3	-8/1	-1/1	-2/3	-1/3	0/0	-4/10	0	8	0/0	24/23		
	Suelo	8/6	-1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1	1	8/6	1/1		
	Vibraciones	0/0	0/0	0/0	-1/3	-1/3	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0	2	0/0	2/6		
	Energía	0/0	0/0	-9/1	-9/1	-9/1	-6/3	-8/3	-3/3	0/0	0/0	0	6	0/0	44/12		
	Paisaje / Visual	8/6	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1	0	8/6	0/0		
	Calidad del ambiente (interior)	0/0	-6/1	-1/1	-5/3	-4/1	-2/3	-1/3	-1/1	-6/3	0/0	0	8	0/0	26/16		
Medio Natural	Flora Local	8/6	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	-3/6	1	1	8/6	3/6		
	Fauna urbana	6/6	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	-3/6	1	1	6/6	3/6		
Factores Socioculturales	Empleo e ingresos	6/6	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	0/0	9	0	46/46	0/0		
	Relaciones comunitarias	8/6	-1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1	1	8/6	1/1		
	Salud pública	5/5	-1/1	-2/2	-1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	-1/3	-1/10	1	5	5/5	6/17		
	Movilidad / tráfico	-1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	-4/10	0	1	0/0	5/11		
	Infraestructura urbana	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0	0	0/0	0/0		
	Percepción del riesgo	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0	0	0/0	0/0		
Interacciones	Positivas	9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	34 Total Interacciones Positivas					
	Negativas	1	6	6	6	5	4	5	3	4	6	Total interacciones Negativas 91					
Sumatoria	Positivas	55/48	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	0/0			191/176	Positivas	5,40	Ponderación del impacto
	Negativas	1/1	5/6	21/9	25/13	26/8	11/8	18/15	5/7	14/12	19/52			Negativas	296/262		
													Ponderación del impacto		3,04		

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de la matriz Leopold permitió identificar y cuantificar los impactos ambientales generados por el proyecto en su fase productiva. Como resultado, se obtuvo un impacto positivo ponderado de **5.40** y un impacto negativo ponderado de **3.04**. Estas ponderaciones se calcularon a partir de la suma total de los valores de **magnitud** e **importancia** de cada interacción, dividida por el número total de **interacciones** positivas y negativas, respectivamente. Obteniendo así, una medida representativa del comportamiento general del proyecto frente al entorno, diferenciando claramente entre los efectos beneficiosos y los adversos. Para entender estas ponderaciones y comprender su nivel de relevancia, se utiliza la siguiente tabla de valoración, en la que se clasifican los impactos como bajo, medio, severo o crítico, según su peso numérico.

Tabla 29 Valoración de Impactos (Leopold)

Valoración de impactos	
Impacto Bajo	1-30
Impacto Medio	31-61
Impacto Severo	61-92
Impacto Crítico	>93

Fuente: Adaptado de (*Matriz de Leopold | Ecoembes | TheCircularCampus*, n.d.)

Con base en los resultados obtenidos y considerando los rangos establecidos en la tabla de valoración de impactos, se evidencia que tanto los impactos negativos como los positivos generados por la operación de la planta se sitúan dentro de la categoría de impacto bajo. No obstante, destaca que el **impacto positivo** ponderado (**5.40**) supera ligeramente al **negativo** (**3.04**), lo que indica que el proyecto aporta beneficios modestos pero significativos al entorno, especialmente en términos de generación de empleo, aprovechamiento de residuos y aporte a la economía circular. Aunque ninguno de los impactos alcanza niveles severos, este balance favorable permite concluir que la implementación de la planta no representaría una afectación considerable para

la población del municipio ni para su entorno, sino por el contrario, ofrece oportunidades de desarrollo local de manera ambientalmente responsable y técnicamente viable.

8.4.2. Evaluación de problemas y limitaciones

Para el desarrollo de la matriz Vester, es necesario definir un problema a evaluar, así como los factores implícitos relacionados con dicho problema. En el caso de esta investigación, el problema central identificado a lo largo del proceso fue la dificultad para estimar una demanda realista que justifique la viabilidad del proyecto. A pesar de la aplicación de diversas herramientas de recolección de datos, no fue posible establecer de manera satisfactoria una estimación confiable de la demanda. Teniendo en cuenta este contexto, se plantean siete factores implícitos asociados al problema, los cuales se caracterizan a continuación:

Tabla 30 Factores implícitos en la principal problemática del proyecto

Problemas	
1	Falta de datos estadísticos actualizados sobre el uso de impresión 3D en la región.
2	Ausencia de estudios de mercado específicos para filamento reciclado.
3	Desconocimiento del nivel de aceptación de filamento reciclado entre clientes de filamentos comerciales
4	Baja visibilidad o posicionamiento de marca al iniciar operaciones.
5	Poco o nulo acceso a registros de importaciones de filamento de impresión en la región
6	Poca certeza en el interés genuino de invertir en la fabricación aditiva por parte de los negocios
7	Posible preferencia a marcas consolidadas en el sector

Fuente: Elaboración propia.

1. Falta de datos estadísticos actualizados sobre el uso de impresión 3D en la región:

Dificulta la planificación y toma de decisiones basadas en información confiable del mercado local.

2. Ausencia de estudios de mercado específicos para filamento reciclado:

Impide conocer la viabilidad comercial y el comportamiento del consumidor frente a este producto.

3. Desconocimiento del nivel de aceptación de filamento reciclado entre clientes de filamentos comerciales:

Genera incertidumbre sobre el potencial de demanda y las estrategias de promoción adecuadas.

4. Baja visibilidad o posicionamiento de marca al iniciar operaciones:

Limita la capacidad de competir con marcas establecidas y captar la atención del público objetivo.

5. Poco o nulo acceso a registros de importaciones de filamento de impresión en la región:

Obstaculiza el análisis de la competencia y la identificación de oportunidades de mercado.

6. Poca certeza en el interés genuino de invertir en la fabricación aditiva por parte de los negocios:

Complica la proyección de alianzas estratégicas y la expansión del mercado.

7. Posible preferencia a marcas consolidadas en el sector:

Representa una barrera para la entrada y aceptación de nuevos productos en el mercado.

Además, se definieron una serie de parámetros de influencia. Para el desarrollo de esta matriz, es necesario tabular el grado de responsabilidad del factor 1 sobre el factor 2, y viceversa, aplicando este procedimiento a todos los factores caracterizados. A continuación, se presentan los parámetros de influencia y la correspondiente tabulación entre los factores implícitos:

Tabla 31 Criterios de calificación de los factores

Criterios de calificación	
0	No lo causa
1	Lo causa indirectamente
2	Lo causa de forma semidirecta
3	Lo causa directamente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32 Ponderación de influencia entre factores

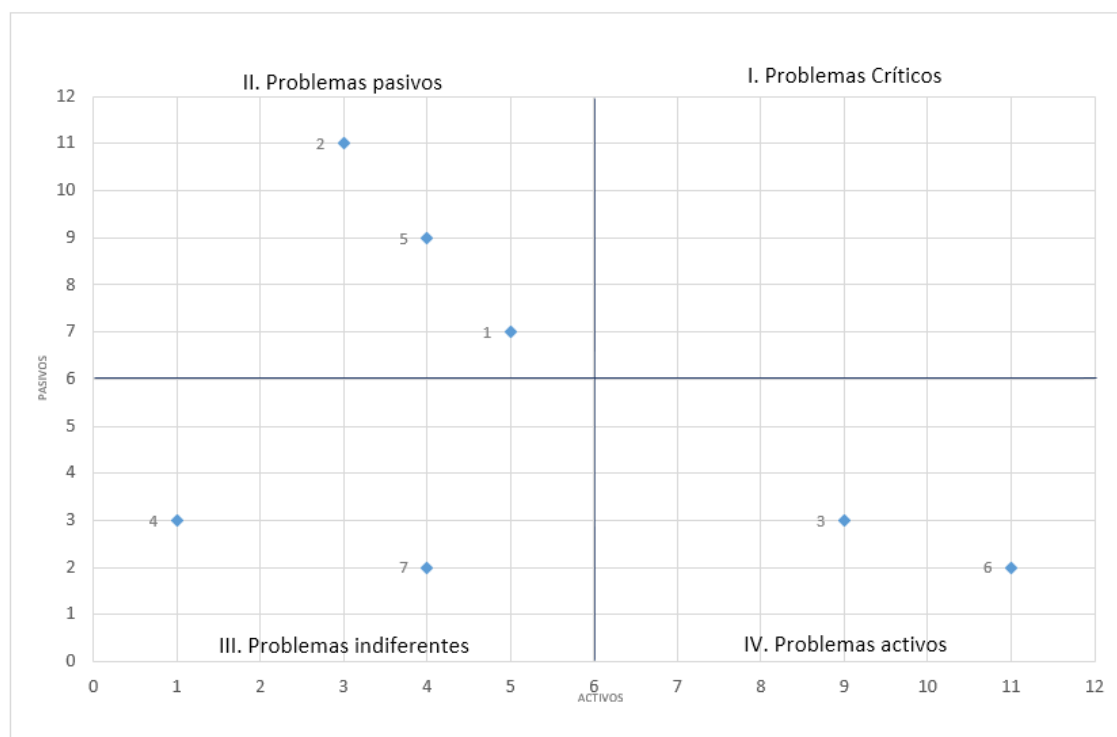
	1	2	3	4	5	6	7	Influencia (activos)
1		3	0	0	2	0	0	5
2	0		0	0	3	0	0	3
3	3	2		0	2	2	0	9
4	0	0	0		0	0	1	1
5	1	2	1	0		0	0	4
6	3	3	2	0	2		1	11
7	0	1	0	3	0	0		4
Dependencia (pasivos)	7	11	3	3	9	2	2	Total 37

Fuente: Elaboración propia.

La tabulación se realiza por columnas, comenzando con el factor 1 (columna 1). Según los criterios previamente definidos, se asigna un grado de influencia en una escala de 0 a 3. Los resultados de la tabla anterior reflejan la influencia

entre factores. La suma de cada fila (influencia o activos) se utiliza para establecer las coordenadas en el eje **X** para su representación gráfica y posterior análisis. Por su parte, la suma de cada columna (dependencia o pasivos) determina las coordenadas en el eje **Y**. A continuación, se presenta la ubicación de cada factor en la zona correspondiente, de acuerdo con sus coordenadas:

Figura 67 Gráfico de zonas de poder



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33 Consolidado de resultados matriz Vester

índices			
problema	activos	pasivos	tipo
1	5	7	Pasivo
2	3	11	Pasivo
3	9	3	Activo
4	1	3	Indiferente
5	4	9	Pasivo

6	11	2	Activo
7	4	2	Indiferente

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos permiten concluir que los factores 4 y 7, relacionados con la percepción de la marca y su entrada al mercado, resultan indiferentes frente al problema principal de estimar una demanda más realista. Por lo tanto, para los fines de este análisis, dichos factores se consideran no relevantes. En contraste, los factores 3 y 6, correspondientes a la falta de información certera sobre las preferencias de los potenciales clientes, se ubican en el cuadrante de "problemas activos". Esto significa que son factores causales que influyen directamente sobre los demás, y que el desconocimiento general respecto a lo que busca el cliente dificulta significativamente la estimación de una demanda ajustada a la realidad del mercado.

Por último, los factores 1, 2 y 5, relacionados con la falta de información que permita tener una visión más clara del panorama general, se identifican como consecuencias de la problemática. Es decir, estos factores no originan el problema, sino que derivan de la falta de conocimiento sobre el comportamiento y las necesidades del mercado.

En conclusión, la estimación deficiente de la demanda no solo se debe a una escasez de datos, sino a una falta estructural de comprensión del cliente objetivo. Abordar los factores activos (en especial el entendimiento profundo de las preferencias del consumidor) será clave para mejorar la viabilidad del proyecto. Por ende, se recomienda priorizar estrategias de investigación de mercado más robustas, que permitan captar información precisa y actualizada sobre los intereses y comportamientos de los usuarios potenciales.

9. Conclusiones

Aunque a lo largo de este documento se han presentado conclusiones detalladas al final de algunas fases del proyecto, es importante resaltar los puntos clave que respaldan plenamente la investigación.

La pregunta central del estudio fue: **¿Cuál es la viabilidad de establecer una fábrica de filamento para impresión 3D con tereftalato de polietileno reciclado en Soacha?** La respuesta es que existe una viabilidad sólida, sustentada en datos concretos que se resumen a continuación:

1. Sostenibilidad ambiental

- El 80% de los estudios científicos revisados indican que la impresión 3D con materiales reciclados reduce las emisiones de CO₂ y disminuye significativamente los residuos plásticos.
- La evaluación ambiental del proyecto clasifica su impacto como bajo, con un impacto positivo ponderado de 5.40, superior al impacto negativo de 3.04, lo que demuestra una contribución significativa a la economía circular y al desarrollo local.

2. Viabilidad técnica

- El 75% de los estudios especializados avalan el reciclaje de materiales como el PET para impresión 3D, siempre que se controlen factores como el secado a 80 °C, la homogeneidad del material y el diámetro del filamento.
- El 100% de los estudios sobre propiedades mecánicas confirman que los materiales reciclados mantienen un rendimiento estructural adecuado, especialmente cuando se combinan con material virgen o se refuerzan con aditivos.

3. Rentabilidad financiera

Los indicadores económicos obtenidos son los siguientes:

- Tasa Interna de Retorno (TIR): 698%
- Valor Actual Neto (VAN): \$8.620.550.387 COP
- Relación Beneficio/Costo (B/C): 39 pesos
- Período de recuperación de la inversión: 2 meses y 1 día
- Margen EBITDA para el primer año: del 24%
- Utilidad Neta para el primer año de: \$ 1.551.784.834 COP

Estos resultados evidencian que el proyecto no solo es rentable, sino que también permite una rápida recuperación de la inversión, con una TIR considerablemente superior a la tasa de descuento habitual.

Es importante señalar que estos indicadores corresponden a un escenario ideal; sin embargo, incluso bajo un escenario pesimista, el proyecto mantiene la generación de utilidades y un beneficio general positivo, lo que refuerza su solidez y viabilidad económica.

Este proyecto representa una alternativa sólida y estratégica para transformar residuos plásticos en materia prima útil, promover la economía circular y fomentar el desarrollo económico local de manera sostenible. Su viabilidad técnica, ambiental y financiera lo posiciona como una solución escalable y replicable en contextos similares.

10. Recomendaciones

En primer lugar, para futuras investigaciones se sugiere profundizar en los aspectos económicos relacionados con la implementación del PET reciclado como materia prima para la fabricación de filamento para impresión 3D. La mayoría de los estudios revisados se enfocan principalmente en aspectos técnicos, como las propiedades mecánicas del material, dejando de lado los análisis de costos, viabilidad financiera y escalabilidad del proceso a nivel industrial. Esta información es clave para evaluar la sostenibilidad real del proyecto y su potencial de replicabilidad.

Asimismo, se recomienda realizar una caracterización más exhaustiva de los requerimientos del cliente objetivo. Dado que se trata de un modelo de negocio innovador, es probable que surjan obstáculos al intentar satisfacer necesidades no identificadas previamente, lo cual podría impactar negativamente en la aceptación del producto y las ventas. Entender mejor las expectativas del mercado permitirá alinear la oferta del filamento reciclado con las demandas reales de los usuarios finales.

Adicionalmente, es importante realizar estudios específicos sobre el comportamiento del PET reciclado al ser mezclado con pigmentos plásticos. Actualmente existe poca información disponible sobre cómo estas mezclas afectan la calidad, homogeneidad y desempeño del filamento. En consecuencia, la propuesta inicial contempla comercializar el producto en los colores naturales de las botellas clasificadas, lo cual podría limitar su atractivo comercial en ciertos segmentos. Abordar esta brecha de conocimiento abriría la posibilidad de ampliar la gama cromática del producto sin comprometer su calidad.

Por último, se sugiere replicar este tipo de investigación en diferentes regiones de Colombia, con el fin de evaluar si la viabilidad técnica, económica y social del modelo se mantiene o se ve afectada por factores regionales como la infraestructura de reciclaje disponible, las condiciones del mercado local o la logística de recolección de residuos. Esto permitiría identificar zonas

estratégicas para la implementación del modelo y adaptar la propuesta a las particularidades de cada territorio.

11. Referencias

1.3.6.7.1. *Cumulative Distribution Function of the Standard Normal Distribution.*

(n.d.). Retrieved April 12, 2025, from

<https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3671.htm>

3D Printer Filament Extruder Machine, 3D Filament Extrusion Machine -

GSmach. (n.d.). Retrieved April 30, 2025, from

https://www.gsextruder.com/3d-printer-filament-extruder/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiArva5BhBiEiwA-oTnXfEwz4jdtSxUMc1Hp-sAdrjvsVQZrJiM6BgajtOTWB85Kk5_SqoFFBoCc1QQAvD_BwE

500-2000kg/h Pet Plastic Bottles Crushing Washing Drying Recycling Washing

Line. (n.d.). Retrieved May 10, 2025, from

https://www.alibaba.com/product-detail/500-2000kg-h-PET-Plastic-Bottles_62473421474.html?spm=a2700.details.you_may_like.1.3698539e7SRoGG

ACEWASHTech Plastic Film/Jumbo Bag/Woven Bag Recycling Washing Line

with European Design. (n.d.). Retrieved April 30, 2025, from

<https://www.acewashtech.com/product/plastic-film-jumbo-bag-woven-bag-recycling-washing-line>

Ámbito jurídico. (n.d.). *Valores del salario mínimo 2025 por días y por horas |*

Ámbito Jurídico. Retrieved May 10, 2025, from

<https://ambitojuridico.com/noticias/laboral/laboral-y-seguridad-social/valores-del-salario-minimo-2025-por-dias-y-por-horas>

Amico, S. (2021). Los diferentes tipos de plástico utilizados en vasos de

plástico. <https://www.limepack.es/blog/uncategorized-es/los-diferentes-tipos-de-plastico-utilizados-en-vasos-de-plastico>

- Angel, V., Barrios, C. J., Parada, B. Y., & Quintero, H. H. (2023). *Planta prototipo para la fabricación de pellets y filamentos de impresión 3d elaborados a partir de botellas pet posconsumo*.
- Banco Mundial. (n.d.). *Inflación, precios al consumidor (% anual) - Colombia | Data*. Retrieved May 9, 2025, from <https://datos.bancomundial.org/indicador/FP.CPI.TOTL.ZG?end=2024&locations=CO&start=2014>
- Bastidas, L. M., & Aguirre, L. A. (2020). Diseño de herramienta para la estimación del tamaño de las instalaciones de la empresa estructuras y montajes Europa S.A.S. *Uniwersytet Śląski*, 7(1), 343–354. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Bernal, N. C., & Ibarrola, C. R. (2023). *Transformación de Residuos en Recursos: Filamentos Reciclados de PET y su Contribución a una Economía Circular*. <https://sol.sbc.org.br/index.php/latinoware/article/view/26104/25927>
- Bodega en Arriendo en Soacha, León XIII*. (n.d.). Retrieved May 10, 2025, from <https://www.fincaraiz.com.co/bodega-en-arriendo/192184625>
- Chinosi, M., & Trombetta, A. (2012). BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*, 34(1), 124–134. <https://doi.org/10.1016/J.CSI.2011.06.002>
- Cifuentes, F. (2023). *Diseño de estructuras organizacionales | Uniandes*. <https://administracion.uniandes.edu.co/programas/executive-education/disenar-estructuras-organizacionales/>
- Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP), & Greenpeace Colombia. (2019). *Situación de los plásticos en Colombia | Uniandes*. <https://derecho.uniandes.edu.co/informe-situacion-actual-de-los-plasticos-en-colombia/>
- Coral, A. (n.d.). *EXTRUSORA DE FILAMENTOS PARA IMPRESIÓN 3D CON RECICLADO DE BOTELLAS PET-G PARA PRÁCTICAS DE PROTOTIPADO EN LABORATORIOS AUNAR*.
- Corfi Colombiana. (2025). *Actualización a enero de 2025 del Informe de la Rentabilidad Esperada del Capital Propio*.

https://investigaciones.corfi.com/analisis-financiero/sector-financiero/actualizacion-a-enero-de-2025-del-informe-de-la-rentabilidad-esperada-del-capital-propio/informe_1624686

- Cruz Sanchez, F. A., Boudaoud, H., Camargo, M., & Pearce, J. M. (2020). Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121602>
- De-la-Cruz-Diaz, M., Alvarez-Risco, A., Jaramillo-Arévalo, M., de las Mercedes Anderson-Seminario, M., & Del-Aguila-Arcenales, S. (2022). 3D Print, Circularity, and Footprints. In *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes*. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0549-0_5
- Delgado, F. (2021). *Caracterización de filamento de PLA reciclado para impresión 3D*. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/24777>
- Devra, R. S., Srivastava, N., Vadali, M., & Arora, A. (2024). Recycling, thermophysical characterisation and assessment of low-density polythene waste as feedstock for 3D printing. *Materials Today Sustainability*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.100949>
- Empacadora al vacío DZ500 Ref:DZ500P-2C – Machineshg.* (n.d.). Retrieved May 3, 2025, from <https://machineshg.com/producto/empacadora-al-vacio-dz500/>
- EOLAS PRINTS. (n.d.). *Fabricación de Filamento de Impresora 3D - Eolas Prints*. Retrieved August 15, 2024, from <https://eolasprints.com/es/pages/making-3d-printer-filament>
- George, H., Quispe, M., Oswaldo, R., Capeha, T., Alex, P., Morales, G., Carlos, ;, & Quintana, M. (2019). MODELADO BPMN (BUSINESS PROCESS MANAGEMENT NOTATION) PARA LA GESTIÓN DE PROCESOS. *Ciencia & Desarrollo*, 0(18), 84–90. <https://doi.org/10.33326/26176033.2014.18.460>
- Hafiz, H. M., Al Rashid, A., & Koç, M. (2024). Recent advancements in sustainable production and consumption: Recycling processes and impacts for additive manufacturing. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101778>

- Hichos, J. (2009). "Las 4 c's del Mercadeo como Herramienta Mercadológica en el lanzamiento de un Producto en el Mercado."
- Informa Colombia. (n.d.). *Recolección, tratamiento y disposición de desechos, recuperación de materiales. en SOACHA*. Retrieved August 15, 2024, from https://www.informacolombia.com/directorio-empresas/actividad/380_RECOLECCION-TRATAMIENTO-Y-DISPOSICION-DE-DESECHOS-RECUPERACION-DE-MATERIALES/localidad_soacha
- ISO 9001. (2015). *Diferencia entre proceso y procedimiento en ISO 9001 - ISO 9001:2015*. <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2020/09/diferencia-entre-proceso-y-procedimiento-segun-iso-9001/>
- Kitchen, P. J., & Burgmann, I. (2015). Integrated marketing communication: Making it work at a strategic level. *Journal of Business Strategy*, 36(4), 34–39. <https://doi.org/10.1108/JBS-05-2014-0052>
- Kitchenham, B. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*.
- Little, H. A., Tanikella, N. G., Reich, M. J., Fiedler, M. J., Snabes, S. L., & Pearce, J. M. (2020). Towards distributed recycling with additive manufacturing of PET flake feedstocks. *Materials*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/MA13194273>
- Macias, F., & Delgado, M. (2023). Indicadores financieros y su relación con la toma de decisiones. In *Polo del conocimiento*.
- Matriz de Leopold | Ecoembes | TheCircularCampus*. (n.d.). Retrieved May 13, 2025, from <https://www.ecoembesthecircularcampus.com/matriz-de-leopold/>
- Michael Cruz. (2018). *Hay bajo reciclaje en los municipios de Cundinamarca*. <https://www.eltiempo.com/bogota/hay-bajo-reciclaje-en-los-municipios-de-cundinamarca-206434>
- Miranda, U. E., & Acosta, Z. (2008). *FUENTES DE INFORMACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA*. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/06/885032/texto-no-2-fuentes-de-informacion.pdf>

- Monje, C. A. (2011). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA Guía didáctica*.
- Mora, V. R. (2021). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa recicladora de material Pet en la ciudad de Guayaquil*.
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/16621>
- Morales, C. (2020). *¡Qué tristeza! Tres humedales de Soacha convertidos en botaderos*. <https://www.rcnradio.com/colombia/region-central/que-tristeza-tres-humedales-de-soacha-convertidos-en-botaderos-de-basura>
- Morín, E. (2017). *Boletín Número V: Indicadores de renatbilidad*.
- Muther, R. (1968). *PLANIFICACION Y PROYECCION DE LA EMPRESA INDUSTRIAL*.
- Nur-A-Tomal, M. S., Pahlevani, F., & Sahajwalla, V. (2020). Direct transformation of waste children's toys to high quality products using 3D printing: A waste-to-wealth and sustainable approach. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122188. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122188>
- Oyinlola, M., Okoya, S. A., Whitehead, T., Evans, M., & Lowe, A. S. (2023). The potential of converting plastic waste to 3D printed products in Sub-Saharan Africa. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 17, 200129. <https://doi.org/10.1016/J.RCRADV.2023.200129>
- Petsiuk, A., Lavu, B., Dick, R., & Pearce, J. M. (2022). Waste Plastic Direct Extrusion Handprinter. *Inventions*, 7(3).
<https://doi.org/10.3390/inventions7030070>
- Ponis, S., Aretoulaki, E., Maroutas, T. N., Plakas, G., & Dimogiorgi, K. (2021). A systematic literature review on additive manufacturing in the context of circular economy. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11).
<https://doi.org/10.3390/su13116007>
- Porter, M. E. (2010). *Ventaja competitiva: creación y sostenibilidad de un rendimiento superior*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=510620&info=resumen&idioma=SPA>
- Ragab, A., Elazhary, R., Schmauder, S., & Ramzy, A. (2023). Plastic Waste Valorization for Fused Deposition Modeling Feedstock: A Case Study on

Recycled Polyethylene Terephthalate/High-Density Polyethylene Sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 15(18).

<https://doi.org/10.3390/su151813291>

Ramírez, M. V., Valencia, J. P., Muñoz, L. M., Moncayo, J. V., Narváez, J. F., Bravo, Y. V., & Diaz, J. A. (2022). Desarrollo de un prototipo de máquina fabricadora de filamento para impresión 3d, mediante la reutilización de botellas de plástico PET.: Tecnoacademia Itinerante Nariño. *CONCIENCIA Y TÉCNICA*, 6(2), 39–43.

<https://revistas.sena.edu.co/index.php/conciencia/article/view/5019>

Ramos, G., & Lombana, G. A. (2019). Diseño e implementación de un sistema de extrusión de filamento para impresión 3D a partir de botellas recicladas. *California Management Review*, 59(2), 5–23.

<https://doi.org/10.1177/0008125617695284>

Romani, A., Levi, M., & Pearce, J. M. (2023). Recycled polycarbonate and polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene feedstocks for circular economy product applications with fused granular fabrication-based additive manufacturing. *Sustainable Materials and Technologies*, 38.

<https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00730>

Ror, C. K., Negi, S., & Mishra, V. (2023). Development and characterization of sustainable 3D printing filaments using post-consumer recycled PET: processing and characterization. *Journal of Polymer Research*, 30(9).

<https://doi.org/10.1007/s10965-023-03742-2>

Sánchez, A. (n.d.). *El impacto de reciclar el PET*. Retrieved August 15, 2024, from <https://www.klarea.mx/blog/el-impacto-de-reciclar-el-pet>

Sánchez Serrano, S., Pedraza Navarro, I., & Donoso González, M. (2022). ¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA?: Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico. *Bordón: Revista de Pedagogía*, ISSN-e 2340-6577, ISSN 0210-5934, Vol. 74, Nº 3, 2022, Págs. 51-66, 74(3), 51–66. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.95090>

Servientrega. (n.d.). *Cotizador - Servientrega Centro de Soluciones*. Retrieved May 10, 2025, from <https://www.servientrega.com/wps/portal/cotizador>

- Spirio, A., Arrigo, R., Frache, A., Tuccinardi, L., & Tuffi, R. (2024). Plastic waste recycling in additive manufacturing: Recovery of polypropylene from WEEE for the production of 3D printing filaments. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112474.
<https://doi.org/10.1016/J.JECE.2024.112474>
- Tito, B. (2020). ▷ *Matriz de Leopold Modificada Impacto Ambiental*.
<https://ingenieriaambiental.net/matriz-de-leopold/>
- United Nations Development Programme. (2023). *¿Por qué no reciclamos más plástico?* <https://stories.undp.org/reciclar-mas-plasticos>
- Universidad de Cundinamarca. (2021). *Líneas de Investigación*.
<https://www.ucundinamarca.edu.co/investigacion/index.php/lineas-de-investigacion>
- Valenzuela Argoti, C. E. (2016). *Importancia de la planeación estratégica en las empresas*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15416>
- Vera, E. yordi. (2023). *Diseño y construcción de una máquina para obtener filamento 3D de bajo costo reciclando botellas PET*. Universidad Nacional de Trujillo. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/18881>
- Woern, A. L., Byard, D. J., Oakley, R. B., Fiedler, M. J., Snabes, S. L., & Pearce, J. M. (2018). Fused particle fabrication 3-D printing: Recycled materials' optimization and mechanical properties. *Materials*, 11(8).
<https://doi.org/10.3390/ma11081413>
- Wu, H., Mehrabi, H., Karagiannidis, P., & Naveed, N. (2022). Additive manufacturing of recycled plastics: Strategies towards a more sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, 335, 130236.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.130236>
- Zhao, P., Rao, C., Gu, F., Sharmin, N., & Fu, J. (2018). Close-looped recycling of polylactic acid used in 3D printing: An experimental investigation and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1046–1055.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.06.275>