



UNIVERSIDAD ESTATAL

PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTO PET
MEDIANTE SU ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD EN LA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR: De La Cruz González Anthony Josué

TUTOR: Ing. Herrera Brunett Gerardo PhD.

La Libertad, Ecuador

2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTO PET
MEDIANTE SU ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD EN LA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR: De La Cruz González Anthony Josué

TUTOR: Ing. Herrera Brunett Gerardo PhD.

LA LIBERTAD - ECUADOR

2024

UPSE

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **De La Cruz González Anthony Josué**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

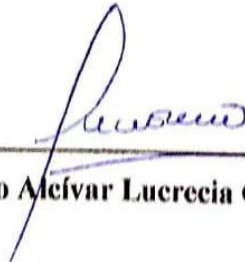
TUTOR



f. _____

Ing. Herrera Brunett Gerardo Antonio., PhD

DIRECTORA DE LA CARRERA



f. _____

Ing. Moreno Alcívar Lucrecia Cristina., PhD

La Libertad, 4 de julio del 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. Herrera Brunett Gerardo Antonio., PhD

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena.

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTO PET MEDIANTE SU ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA”, elaborado por el Sr. DE LA CRUZ GONZÁLEZ ANTHONY JOSUÉ, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haber estudiado y revisado, lo apruebo en su totalidad.

TUTOR



f. _____

Ing. Herrera Brunett Gerardo Antonio., PhD

La Libertad, 4 de julio del 2024

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

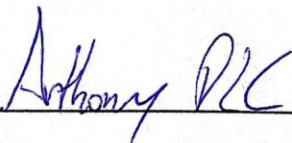
Yo, **De La Cruz González Anthony Josué**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Propuesta de producción de filamento PET mediante su estudio de productividad en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

AUTOR

f.  _____

De La Cruz González Anthony Josué

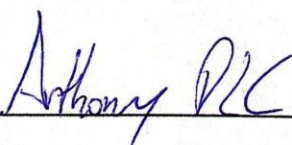
La Libertad, 4 de julio del 2024

AUTORIZACIÓN

Yo, **De La Cruz González Anthony Josué**

Autorizo a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **Propuesta de producción de filamento PET mediante su estudio de productividad en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

AUTOR

f.  _____

De La Cruz González Anthony Josué

La Libertad, 4 de julio del 2024


CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular con el tema **“PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTO PET MEDIANTE SU ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA”** elaborado por el Sr. **DE LA CRUZ GONZÁLEZ ANTHONY JOSUÉ**, egresado de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el software antiplagio: Compilatio Magister, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, el presente trabajo de titulación, se encuentra con un 2% de similitud, siendo esta valoración permitida, por consiguiente, se procede a emitir el presente informe.

Atentamente,



FIRMA DEL TUTOR

f. 

Ing. Herrera Brunett Gerardo Antonio, PhD.
Docente de la Carrera de Ingeniería Industrial
UPSE C.C: 090925426-0

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Mgtr. Freddy Tigreiro Suárez. Certifico haber revisado la redacción y el contenido del trabajo de titulación: **“PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTO PET MEDIANTE SU ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA”**, cuya autoría corresponde al señor **ANTHONY JOSUÉ DE LA CRUZ GONZÁLEZ**, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial.

Por lo expuesto, el trabajo investigativo se encuentra idóneo para el respectivo proceso de titulación.

Atentamente,



Mgtr. Freddy Tigreiro Suárez

Docente UPSE

Registro SENESCYT

No. 1006-15-86073642

Universidad de Guayaquil

Magíster en Docencia y Gerencia en Educación Superior

22 diciembre 2015

Fecha de emisión certificado: 26-06-2024

AGRADECIMIENTO

Al Creador de todo: Dios, gracias por tu infinita misericordia y por las bendiciones que me otorgas cada día. Agradezco el milagro de la vida, que me ha permitido alcanzar mis metas y cumplir mi misión en esta tierra. Tu guía y apoyo han sido fundamentales en cada paso de mi trayectoria, y por eso te alabo y te doy gracias de todo corazón.

A los estimados docentes de la Universidad Estatal Península de Santa Elena: Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos los profesores que, con dedicación y paciencia, me han impartido sus valiosos conocimientos y experiencias a lo largo de mi preparación académica. Su compromiso y profesionalismo no solo me han enriquecido intelectualmente, sino que también han dejado una huella profunda en mi vida. Gracias por su inspiración, por sus enseñanzas y por creer en mi potencial.

Anthony De La Cruz González

DEDICATORIA

A mis queridos padres: Por darme la vida y el don de ser, brindándome una magnífica herencia de formación y valores dentro del seno familiar. Gracias por enseñarme la importancia del esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre a mi lado, apoyándome en cada uno de mis pasos.

A mi amada esposa: Por su apoyo incondicional, su amor y su comprensión. Has sido mi roca y mi refugio en los momentos más difíciles, y tu fe en mí ha sido una fuente inagotable de inspiración. Gracias por tu paciencia y por sacrificar tanto para que yo pudiera alcanzar mis sueños.

A mi querida hija: Por ser el aliento, la fuerza y la motivación para superarme y poder cumplir con mis metas y objetivos trazados. Cada sonrisa tuya es una razón más para seguir adelante, y tu alegría es el faro que ilumina mi camino. Espero que este logro sea un ejemplo para ti de que, con esfuerzo y dedicación, todo es posible.

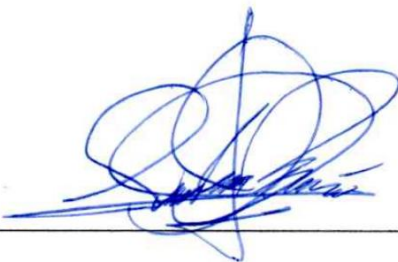
Anthony De La Cruz González

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 


Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD.

DIRECTORA DE CARRERA

f. 

Ing. Edison Noe Buenaño Buenaño, MSc.

DOCENTE ESPECIALISTA

f. 

Ing. Gerardo Antonio Herrera Brunett, PhD.

DOCENTE TUTOR

f. 

Ing. Juan Carlos Muyulema Allaica, MEng.

DOCENTE GUÍA DE LA UIC

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iv
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	v
AUTORIZACIÓN	vi
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA.....	viii
AGRADECIMIENTO	ix
DEDICATORIA.....	x
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	xi
ÍNDICE GENERAL	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	11
MARCO TEÓRICO	11
1.1. Antecedentes investigativos.....	11
1.2. Estado del Arte.....	11
1.3. Fundamentos Teóricos	36
1.3.1. Extrusión.....	36
1.3.2. Productividad.....	36
1.3.3. Fabricación aditiva.....	37

CAPÍTULO II.....	38
MARCO METODOLÓGICO.....	38
2.1. Enfoque de investigación.....	38
2.2. Diseño de investigación.....	38
2.3. Procedimiento metodológico.....	39
2.4. Delimitación de población o universo.....	41
2.5. Muestra.....	41
2.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
2.6.1. Método.....	43
2.6.2. Técnica de recolección de datos.....	43
2.6.3. Instrumento de recolección de datos.....	44
2.7. Variables de estudio.....	45
2.7.1. Variable Independiente.....	45
2.7.2. Variable Dependiente.....	45
2.7.3. Operacionalización de las variables.....	45
2.8. Procedimiento para recolección de datos.....	47
2.9. Plan de análisis e interpretación de resultados.....	47
CAPÍTULO III.....	49
MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
3.1. Marco de resultados.....	49
3.1.1. Validación por expertos.....	49
3.1.2. Procedimiento para recolección de datos.....	50
3.1.3. Análisis de confiabilidad Test Retest.....	55
3.1.4. Prueba de normalidad.....	56
3.1.5. Verificación de la hipótesis.....	57
3.2. Propuesta.....	60
3.2.1. Tema.....	60

3.2.2.	Introducción.....	60
3.2.2.1.	Importancia del reciclaje de plásticos PET en la industria actual.....	61
3.2.2.2.	Justificación del estudio.....	61
3.2.2.3.	Objetivos de la investigación.....	62
3.2.3.	Metodología.....	62
3.2.3.1.	Materiales y Equipos	64
3.2.4.	Resultado	65
3.2.4.1.	Disponibilidad.....	65
3.2.4.2.	Rendimiento.....	73
3.2.4.3.	Calidad.....	74
3.2.4.4.	Cálculo del OEE	75
3.2.5.	Cálculo de productividad.....	76
3.2.6.	Presupuesto	78
3.2.7.	Parámetros de impresión.....	84
3.2.8.	Pruebas de impresión.....	84
	MARCO DE DISCUSIÓN	87
	CONCLUSIONES.....	89
	RECOMENDACIONES.....	90
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
	ANEXOS	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Las 42 palabras clave ordenadas por su ocurrencia y puntaje de relevancia ...	16
Tabla 2. Matriz referencial de artículos.....	19
Tabla 3. Escala de Saaty.....	28
Tabla 4. Matriz de comparación de pares de nivel 2.....	29
Tabla 5. Matriz normalizada y vector de pesos.....	30
Tabla 6. Cálculo de consistencia λw	30
Tabla 7. Índice de Consistencia Aleatorio.....	31
Tabla 8. Matriz de subcriterios de Medición y Análisis.....	32
Tabla 9. Matriz de subcriterios de Diseño y Optimización.....	33
Tabla 10 Matriz de subcriterios de Gestión y Producción	34
Tabla 11. Ranking de Prioridad Global.....	35
Tabla 12. Iteraciones del diseño factorial.....	39
Tabla 13. Muestras de estudio.....	42
Tabla 14. Operacionalización de las variables	46
Tabla 15. Procedimiento para recolección de datos	47
Tabla 16. Pan de análisis e interpretación de datos.....	48
Tabla 17. Matriz de comparación de juicio de expertos.....	50
Tabla 18. Recolección de datos con factores AX.....	52
Tabla 19. Recolección de datos con factores AY	52
Tabla 20. Recolección de datos con factores AZ	53
Tabla 21. Recolección de datos con factores BX.....	53
Tabla 22. Recolección de datos con factores BY	54
Tabla 23. Recolección de datos con factores BZ	54
Tabla 24 Confiabilidad Test Retest	55
Tabla 25. Resumen de procesamiento de casos de normalidad	56
Tabla 26. Prueba de normalidad Shapiro Wilk	57
Tabla 27. Interpretación de coeficiente de correlación de Pearson	58
Tabla 28 Coeficiente de correlación de Pearson	59
Tabla 29. Materiales y equipos para la producción de filamentos PET	64
Tabla 30. Tiempos de inactividad por botellas.....	66
Tabla 31. Horas laborables por meses.....	68
Tabla 32. Producción de filamentos mensual.....	69

Tabla 33. Tiempos de inactividad no planificada y planificada mensual.....	70
Tabla 34. Disponibilidad total por mes	70
Tabla 35 Tiempo planificado de producción por mes	71
Tabla 36. Tiempo de operación al mes.....	72
Tabla 37 Disponibilidad por meses	72
Tabla 38 Calidad del filamento BY.....	74
Tabla 39 Productos de calidad al mes	75
Tabla 40 Presupuesto de la propuesta	78
Tabla 41 Estado de costo de reducción.....	79
Tabla 42 Estado de resultados	79
Tabla 43 Estado de resultados proyectados.....	80
Tabla 44 TMARX	81
Tabla 45 Inversión inicial y flujo de efectivo.....	81
Tabla 46 Periodo de recuperación de la inversión	82
Tabla 47 Parámetros de impresión	84
Tabla 48 Pruebas de impresión	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de la problemática investigativa	9
Figura 2. Análisis bibliométrico en cuatro pasos.....	12
Figura 3. Red bibliométrica de 5 clústers	14
Figura 4. Centralización de grado.....	15
Figura 5. Nube de palabras por ocurrencias y puntaje de relevancia	17
Figura 6. Flujograma del desarrollo de AHP	26
Figura 7. Herramientas para el estudio de productividad	28
Figura 8. Proceso Metodológico.....	40
Figura 9. Fases de la metodología del Ábaco de Regnier.....	44
Figura 10. Propuesta de procedimiento de producción de filamentos PET.....	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Herramientas para el estudio de productividad según artículos	25
Gráfica 2. Método utilizado para recolección de datos	25
Gráfica 3. Ranking de Prioridad Global	35
Gráfica 4 Gráfica de caja y bigotes.....	57
Gráfica 5. Gráfica de barras de calidad de filamentos.....	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Bibliométrico en software VOSviewer	100
Anexo B Centralización de grado.....	101
Anexo C Ensamblaje mecánico de prototipo	102
Anexo D Ensamblaje electrónico de prototipo.....	103
Anexo E Validación de experto 1	104
Anexo F Validación de experto 2	105
Anexo G Validación de experto 3.....	106
Anexo H Ficha de recolección de datos AX.....	107
Anexo I Ficha de recolección de datos AY.....	108
Anexo J Ficha de recolección de datos AZ	109
Anexo K Ficha de recolección de datos BX.....	110
Anexo L Ficha de recolección de datos BY	111
Anexo M Ficha de recolección de datos BZ	112
Anexo N Circuito Electrónico	113
Anexo O Código de Arduino Nano	114
Anexo P Parámetros de impresión.....	119

RESUMEN

La situación que se vive en la actualidad con el incremento de desechos plásticos en el planeta es alarmante, aunque existen métodos que intentan disminuir este impacto ambiental, el hecho es que se necesita hacer el cambio desde las mismas instituciones, por lo que en conjunto al club del medio ambiente de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, se creó la iniciativa Universidad Sostenible, con el objetivo de Proponer la Producción de Filamento PET mediante su Estudio de Productividad en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, el cual disminuirá los Residuos PET de la universidad mientras se crean prototipos a base de PET por medio de impresión 3D. Por medio del análisis bibliométrico se obtuvo que con el cálculo del OEE es la metodología con la que se pueden conseguir los resultados que direccionen al estudio de productividad. Con un diseño experimental se definieron los factores que influyen en la calidad el filamento utilizando la técnica de observación y de instrumento las fichas de recolección de datos. Se obtuvieron por medio del Software SPSS se encontró que los factores BY influyen de manera positiva al diámetro óptimo para la impresión 3D sin que genere atascos y que con un costo similar al PET-G el filamento puede llegar a ser productivo.

Palabras clave: actualidad, mitigar, iniciativa, residuos.

ABSTRACT

The situation currently experienced with the increase in plastic waste on the planet is alarming, although there are mitigating methods that try to reduce this figure, the fact is that the change needs to be made from the institutions themselves, so together the environmental club of the Santa Elena Peninsula State University, the Sustainable University initiative was created, with the objective of Proposing the Production of PET Filament through its Productivity Study in the Faculty of Engineering Sciences, which will reduce PET Waste of the university while prototypes are created based on PET through 3D printing. Through bibliometric analysis, it was obtained that the calculation of the OEE is the methodology with which the results that lead to the study of productivity can be achieved. With an experimental design, the factors that influence the quality of the filament were defined using the observation technique and the data collection sheets instrument. Obtained through SPSS Software, it was found that the BY factors positively influence the optimal diameter for 3D printing without generating jams and that with a cost like PET-G the filament can become productive.

Keywords: current affairs, mitigate, initiative, waste.

INTRODUCCIÓN

En la situación actual del planeta, el impacto de los residuos plásticos de tereftalato de polietileno (PET) en el medio ambiente es indiscutible y su uso está aumentando, principalmente porque brinda oportunidades y ventajas para que las organizaciones empaqueten y distribuyan productos a menores costos (Ormaza et al., 2020).

Con la implementación de restricciones sobre el plástico en múltiples naciones lideradas por la Campaña de la Valla Verde, hubo una transformación significativa en el comercio global de desechos plásticos iniciando con China (Zhao et al., 2021). Para mejorar los métodos de administración de desechos que es una prioridad global, y para entidades a nivel mundial, actualmente se está promoviendo la idea de economía circular (Buch et al., 2021). De tal manera, que cada año se producen en todo el mundo millones de toneladas de PET, de las cuales sólo el 30% se recicla, mientras que el porcentaje restante se incinera, produciendo grandes cantidades de dióxido de carbono en la atmósfera, o dispersándose a diversas poblaciones en los océanos o en los vertederos del mundo (Ramírez, 2022).

Durante los últimos 60 años, los fabricantes de plástico han experimentado un crecimiento exponencial, todo debido a su naturaleza económica, versátil y liviana, estas características aumentan la demanda de producción de plástico en los próximos años. Sin embargo, con la ventaja de las zonas de reciclaje de plástico, el aumento de estos trae una serie de desafíos, además de los generados para la industria de reproducción de residuos (Hahladakis et al., 2018).

A nivel regional, en Colombia existen aproximadamente 60.000 recicladores y 4.400 almacenes de reciclaje, lo que aumenta la oferta de PET reciclado. La planta de reciclaje de EkoRed genera la necesidad de integrar a recicladores y productores para incentivarlos a convertir eficientemente la cadena logística reciclador-almacén en botellas de PET (Zapata et al., 2021). Por medio de productos que se elaboran a partir de materiales recuperados de los excedentes de los procedimientos de extrusión en el caso de una empresa en Medellín según Zapata et al. (2019). Para disminuir la liberación de sustancias contaminantes provenientes del vertedero, al mismo tiempo que favorecería la

mezcla uniforme del compost generado a partir de residuos orgánicos, promoviendo así la restauración y protección de los suelos agrícolas en la zona (Jaraba, 2017).

En Bolivia, las empresas de acoplo de botellas PET de Sucre envían sus productos a empresas cortadoras de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz, las cuales cortan y entregan el producto resultante a otras encargadas de producir juguetes, sandalias y otros productos, del mismo modo la ciudad de Sucre también cuenta con personas que comprimen el material y lo parten en fardos, que luego se venden a países como Chile y Perú (Ramírez, 2022).

En Ecuador, la carencia de clasificación de desperdicios ha incrementado la cantidad de desechos, principalmente orgánicos y plásticos, saturando los depósitos de basura y los cuerpos de agua (Pazmiño et al., 2023). Con el fin de hallar respuestas a los desechos plásticos, una de las soluciones se enfoca en la descomposición mediante compost de cubiertas de invernadero en Agroplantas Cia. Ltda, una compañía exportadora de flores en Ecuador (Álvarez et al., 2022). Además, se incorpora adiestramiento a los individuos y existe una constante difusión para de la gestión y utilización de desechos (Merchán et al., 2021). Ecuador se está adaptando a los desarrollos arquitectónicos imperantes en los últimos años, implementando proyectos de investigación sobre el reciclaje de residuos sólidos no renovables y residuos orgánicos para desarrollar elementos constructivos sustentables y relacionados con el medio ambiente (Cedillo & Echeverría, 2022).

En Santa Elena, con un estudio de contaminación de residuos sólidos en tres playas como lo son: Salinas, Ballenita y La Carioca, se recolectaron 48,5 kg, 35,9 kg y 24,6 kg respectivamente, donde el 77% es de material plástico (Suárez, 2022). En la planta recicladora ASC S.A con la implementación de la metodología PHVA se obtuvo un 11,58% de disminución de tiempo de reciclaje lo que significa un aumento en su productividad (Tomalá, 2023).

Ambas realidades apuntan a la necesidad de promover alternativas que reduzcan el impacto de este material en el planeta, además de campañas dirigidas a la sensibilización, como las instalaciones de bio-reciclaje (Ormaza et al., 2020).

Sobre la utilización del reciclaje del PET, Hernández, (2021) explica que las botellas de PET poseen un tiempo de degradación de más de 650 años, y esta cualidad

especial lo convierte en un excelente material alternativo de construcción y así su reutilización disminuiría la contaminación. Una conclusión parecida brinda Cedillo & Echeverría (2022) que en su investigación implica el reciclaje de residuos de plástico PET y vidrio, demostró que se pueden utilizar como piezas de construcción mediante procesamiento técnico, reduciendo así la contaminación ambiental. Por último, en el estudio de Chaka et al. (2023) con residuos PET, fibra de sisal y fibras falsas de plátano tienen un 36% grado de ligereza en comparación con otros 3 métodos de composición de baldosas, y en ciertos casos una mayor resistencia a la compresión, dado a que la naturaleza del PET es económica y lo convierte en un material más productivo.

Tomando como base lo mencionado anteriormente nace la idea de implementar una máquina extrusora de filamentos PET a base de botellas recicladas. Para desarrollar un dispositivo fácil de implementar, económico, de manejo simple y ser utilizado en centros de formación por personas sin mucha experiencia. Además, se proporciona información sobre impresión 3D y reciclaje de plástico (Vargas, 2023). Utilizando las botellas luego de su respectiva limpieza, se clasifican por sus características. Luego llenarlas de aire con una bomba, siguiendo con un proceso de calentamiento para su uniformidad, se cortan en cintas y pasan por el proceso de extrusión, del cual se extrae el filamento de 1,75 mm de diámetro.

Para la obtención de la materia prima, Tirado (2021) explica que, dado que las botellas de plásticos se consideran en su mayoría materiales desechables, estas pueden ser utilizadas en la construcción ecológica. Entonces, este ingreso es fácil, rápido y gratuito. Por tal razón, se utilizan las botellas de plásticos que han sido recolectadas a lo largo del período académico presente por la Carrera de Ingeniería Civil, el cual con su iniciativa ambiental en diversos sectores del Campus implementa receptores de botellas plásticas.

En la actualidad existen diferentes tipos de manejo de residuos, algunos por reciclaje, otros los incineran, y finalmente unos solo optan por acumularlo en vertederos, arroyos y ríos donde terminan desembocando en el mar o son enterrados. Otra opción de reciclaje son máquinas de diseños de código abierto con el fin de crear filamentos uniformes; no obstante, aquellas no tienen una base que los respalde de manera legítima, solo quedan como proyectos empíricos sin fundamentos cualitativos ni cuantitativos, y por último están las máquinas extrusoras con un diseño que se complementa con una

trituradora de plástico, la que por su costo de fabricación terminan siendo menos rentables a corto plazo.

Planteamiento del problema

En El Salvador la investigación contempla un análisis de la problemática medioambiental que posee el mundo, como lo es la sobreproducción de botellas de plásticos de PET. Es un material utilizado para fabricar envases de diferentes tipos de bebidas. El PET en sí no contamina, pero debido a la falta de una política ambiental y una cultura de reciclaje, representa una amenaza para el medio ambiente, significando una sobreproducción de PET en el país, afectando los ecosistemas terrestres y océanos, y se desecha en el país sin control (Hernández, 2021).

En Colombia en el caso de Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, uno de los problemas que se dan actualmente para los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la AUNAR que trabajan con impresión 3D es que los filamentos son costosos, pues el precio de 1 Kg es de \$90.000 pesos colombianos, equivalente a \$22,69 estadounidenses aproximadamente. Este proyecto plantea construir una extrusora que produzca filamentos a través del PET reciclado beneficiando a estudiantes de la AUNAR que carecen de laboratorios donde se puedan hacer las prácticas (Coral & Izquierdo, 2017).

Conforme los datos obtenidos, a través de la aplicación del impuesto, tipo pigouviano, bajo la modalidad de depósito-reembolso, Ecuador obtuvo niveles de reciclaje de botellas plásticas superiores al 100% a partir del segundo año de aplicación versus el 39% que se reportaba previamente, con lo que se alcanzó un nivel de recolección y procesamiento (reciclaje) superiores a Japón (72%), Europa (48%) y Estados Unidos (29%), conforme el Servicio de Rentas Internas y el Plastic Waste Management Institute (Andrade, 2016). Con el diseño e implementación de máquinas de reciclaje se puede reducir el volumen hasta un 55,62% (Naranjo et al., 2021). El objetivo es encontrar una alternativa que ayude a reducir la contaminación ambiental que azota hoy en día mediante el reciclaje de residuos inorgánicos como el plástico.

Basados en la gran problemática que es el espacio que ocupan las botellas recicladas PET, la utilización de varios instrumentos de termoplásticos es una solución idónea, puesto a que, aunque se van a ocupar las botellas de plástico, un porcentaje de estas no se convierten en cintas para la máquina extrusora. Con este propósito se proyecta

una máquina complementaria que es una inyectora de plástico, la misma es parte de las botellas PET que no han sido utilizadas.

Por otro lado, es necesario conocer que tan rentable es implementar un sistema de producción de filamentos, si al llegar a una cierta cantidad de filamentos, se puede obtener una reducción del costo en comparación de la adquisición a precio del mercado de la materia prima para la impresión en 3D. Otro factor clave es la uniformidad del filamento, debido a que la impresión en 3D se debe tener un filamento con una tolerancia de 0,1 mm en la mayoría de los procesos.

Si bien explica Fuentes (2018) la productividad se refiere a la capacidad de generar una mayor cantidad de productos utilizando los mismos recursos disponibles. Su aumento se calcula mediante el residuo de la función de producción, que representa la parte del incremento que no puede ser explicada por el aumento en los factores de producción, como la naturaleza, el capital y el trabajo.

La globalización ha impulsado acuerdos comerciales entre países, facilitando la exportación y promoción de productos. En este contexto competitivo global, las empresas necesitan implementar políticas efectivas para enfrentar desafíos, mejorar la rentabilidad y productividad, y reducir costos para diferenciarse de la competencia y mantenerse competitivas en el mercado internacional (Palma et al., 2023).

En un estudio del Instituto de Investigaciones Económicas, de 28 países en vías de desarrollo sólo tres de ellos mostraron un incremento significativo en la productividad laboral debido a la combinación de efectos estructurales y de interacción. Estos países son Indonesia (1.33%), Hungría (1.32%) e Irán (1.04%). Esto indica que, en estos casos, los cambios en la estructura económica y la interacción de diferentes sectores contribuyen positivamente al crecimiento de la productividad laboral (Vázquez, 2018). Por lo tanto, la globalización ofrece una plataforma para que las empresas de reciclaje de PET puedan expandir sus operaciones y mejorar su eficiencia, lo que a su vez promueve la sostenibilidad y la productividad a nivel mundial.

En un análisis de la productividad del ámbito agrícola de 19 países de América Latina, se observó que solo Nicaragua, Guatemala y Paraguay mostraron una disminución media en su productividad agrícola durante el período de estudio. Los índices de cambio

en la productividad total de los factores fueron 0.989 para Nicaragua, 0.971 a Guatemala y 0.982 a Paraguay. Estos resultados difieren de estudios previos, que no registraron tales descensos. En contraste, Brasil y Costa Rica se destacaron por ser los más productivos, con índices de 1.039 y 1.043 respectivamente (Sotelsek & Laborda, 2019).

A nivel nacional, la productividad media de las provincias de Ecuador presenta variaciones significativas en función de la región y los recursos disponibles. La provincia de Orellana, localizada en la región Oriente y rica en recursos petroleros, exhibe la mayor productividad, superando considerablemente a otras provincias. En 2011, Orellana destacó con una productividad media de \$41.26 a \$59.17 USD por trabajador. Sucumbíos y Pastaza también muestran altos niveles de productividad, reflejando la influencia positiva de los recursos naturales en estas áreas (Ulloa et al., 2023).

Por lo expuesto, se determina que para conocer la productividad debe realizarse un estudio de los componentes necesarios en la producción del filamento, la cantidad de filamento y su costo en el mercado; de esta manera conocer si es una opción factible el implementar una máquina extrusora de filamentos con base de PET. Además, es importante entender cómo las estructuras económicas y la dinámica sectorial pueden impactar la productividad laboral. Este conocimiento puede ayudar a identificar áreas de mejora y a formular estrategias que promuevan un crecimiento sostenido en la productividad, especialmente en países en vías de desarrollo donde los efectos estructurales negativos pueden limitar el progreso económico.

Formulación del problema de investigación

¿Cómo la producción de filamento PET aumenta la productividad de impresión 3d proyectada en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería?

Alcance de la investigación

A partir del estudio experimental, se obtiene la relación de la variable dependiente e independiente, con el fin de predecir cual es el nivel de productividad que necesario al implementar la producción de filamento PET autoabastecida por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

Los resultados proporcionados por este trabajo de integración curricular pueden ser utilizados en nuevos emprendimientos de obtención de productos a base de plásticos

recicladados, teniendo en cuenta los componentes y parámetros de fundición de los plásticos a base de tereftalato polietileno.

Limitaciones:

- El trabajo de integración curricular se limita a la puesta en marcha de un prototipo de máquina extrusora y medición de su producción.
- Por las limitantes del investigador, no se realizaron experimentos en laboratorio.
- El producto fabricado y la máquina son utilizados para proyectos e investigaciones futuras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

Justificación de la investigación

En la actualidad el plástico es el material más común que se encuentra en los ambientes costeros y marinos de todo el mundo. Además, los residuos sólidos son fuente de emisiones y reproducción de vectores que contribuyen a la contaminación del aire en el entorno urbano. Desde la concepción de economía circular, la incorporación de materias primas de desechos plásticos a la cadena de suministro para producir productos de alto valor ayuda a reducir la contaminación (Restrepo et al., 2021).

El propósito de la investigación es proponer el uso de filamentos reciclados PET para impresión 3D en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería – UPSE. Según Alía et al., (2019), la experiencia de la Universidad Politécnica de Madrid ayuda a los estudiantes a facilitar un proceso de aprendizaje basado en proyectos. Por otro lado, el uso de tecnologías innovadoras de producción digital elevó el nivel educativo de los estudiantes del curso y demostró ser una buena herramienta para proyectos futuros. La adaptación al tamaño de estas máquinas y a los requerimientos de los materiales a utilizar se ha convertido en un punto clave a la hora de resolver los problemas de los estudiantes, fomentando su imaginación y creatividad.

Los beneficios sociales del trabajo están encaminados a fomentar la innovación al investigar la producción de filamentos de PET, contribuyendo al progreso tecnológico y al desarrollo de nuevos métodos de producción. La investigación puede promover la colaboración entre diferentes áreas de la facultad, promueve el intercambio de conocimientos creando sinergias profesionales. Los principales beneficiarios son estudiantes que participan en la investigación que obtienen habilidades prácticas como la

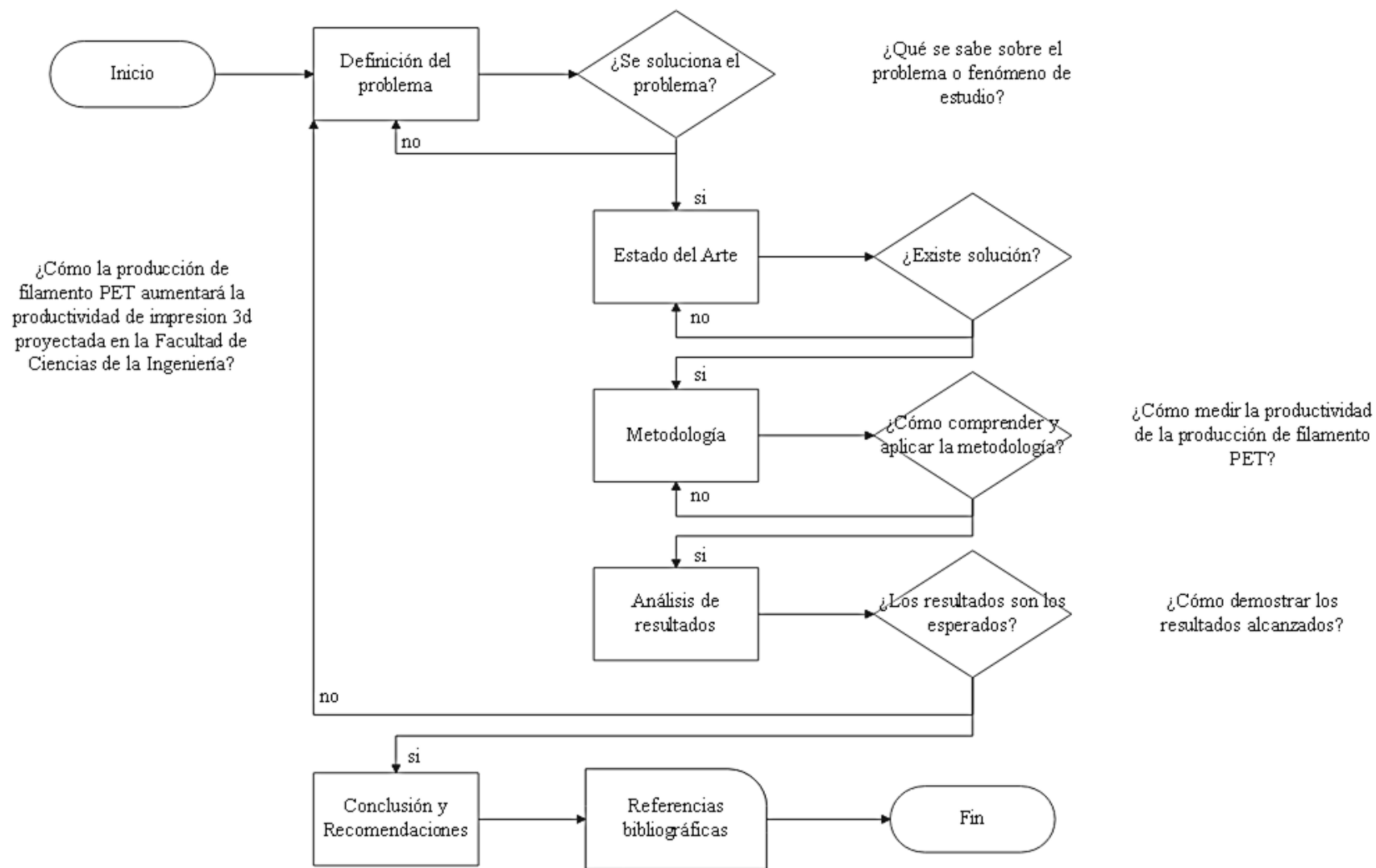
planificación de proyectos y la resolución de problemas, mejorando su preparación para el mercado laboral.

El reciclaje de residuos plásticos está adquiriendo cada vez más importancia, ya que el nivel de contaminación provocado por estos elementos ha aumentado significativamente en las últimas décadas. Por lo tanto, opciones como utilizar residuos plásticos para crear productos de alto valor ecológico son posibles y rentables (Restrepo et al., 2021).

Entre los beneficios metodológicos del estudio está la aplicación de la ingeniería de procesos que permite analizar y mejorar la eficiencia de la producción de filamentos de PET, como también optimizar la cadena de producción y promover prácticas más eficientes. La investigación incluye un estudio de factibilidad para evaluar la viabilidad económica de la propuesta de producción de filamentos PET, brindando un enfoque empresarial a la iniciativa. El análisis de los sistemas de producción y las recomendaciones de mejora en este caso de ingeniería industrial, garantizan un enfoque integral para optimizar la eficiencia de los laboratorios de producción en impresoras 3D.

En la figura 1, se muestra el flujograma de la problemática investigativa, está segmentada por sus respectivas preguntas de investigación, estructurada con los componentes de la investigación, y sus diferentes alternativas en caso de no concretar la resolución de los cuestionamientos.

Figura 1. Flujoograma de la problemática investigativa



Nota: Elaborado por el autor

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, el trabajo de investigación curricular se basa en medir la productividad de producción, abarcando los diferentes factores de componentes, tiempos y costos para la fabricación de filamentos elaborados en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

Con este contexto, el trabajo de titulación se centra en proponer la Producción de Filamento PET mediante su estudio de productividad en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, con la finalidad de demostrar la factibilidad de este proceso de fabricación. Entonces, para dar cumplimiento la presente investigación se presentan los siguientes objetivos específicos.

- Investigar la bibliografía existente a partir de un análisis bibliométrico y AHP para definir la variable de investigación.
- Desarrollar un marco metodológico, mediante métodos y técnicas de investigación para la recolección de datos.
- Medir el porcentaje de productividad, basado en el cálculo del OEE, para la producción de filamento PET en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Estudio de la facultad de ingeniería - Universidad de Buenos Aires (UBA) Argentina, cuyo objetivo es desarrollar un dispositivo de fácil implementación, económico y de uso sencillo, especialmente pensado para su utilización en entornos educativos por parte de personas sin experiencia previa. Para ello, se diseñó e implementó un sistema en producir filamento de plástico PET reciclado, adecuado para impresoras 3D, utilizando botellas desechables de PET (Vargas, 2023).

En el departamento de materiales y tecnología, facultad de ingeniería - Universidad Estadual Paulista de Brasil, las extrusoras son equipos imprescindibles para la producción de filamentos 3D, se considera una tecnología limpia porque produce menos residuos y permite reciclar el material, alargando su ciclo de vida. Las extrusoras de código abierto son más baratas que las extrusoras industriales; sin embargo, cuentan con pocas herramientas que limiten el análisis del tratamiento (De Oliveira et al., 2022).

En la Universidad Politécnica de Valencia - España, a través de la conferencia internacional de la sociedad de ingeniería de fabricación, Mirón et al., (2017) manifiesta que, en vez de depender exclusivamente de proveedores para adquirir filamento, hay que buscar una solución autosuficiente para producir la cantidad requerida de material, siendo una meta valiosa y práctica.

En el Tecnológico de Estudios Superiores de Chalco – MÉXICO, la carrera de Ingeniería Electromecánica buscó fusionar en una máquina todo el procedimiento de fabricación de filamentos para impresoras 3D. Este proyecto implica entrar en el sector de los filamentos para impresoras 3D, con el objetivo de impactar positivamente en la comunidad y contribuir a la preservación del medio ambiente (López et al., 2023).

1.2. Estado del Arte

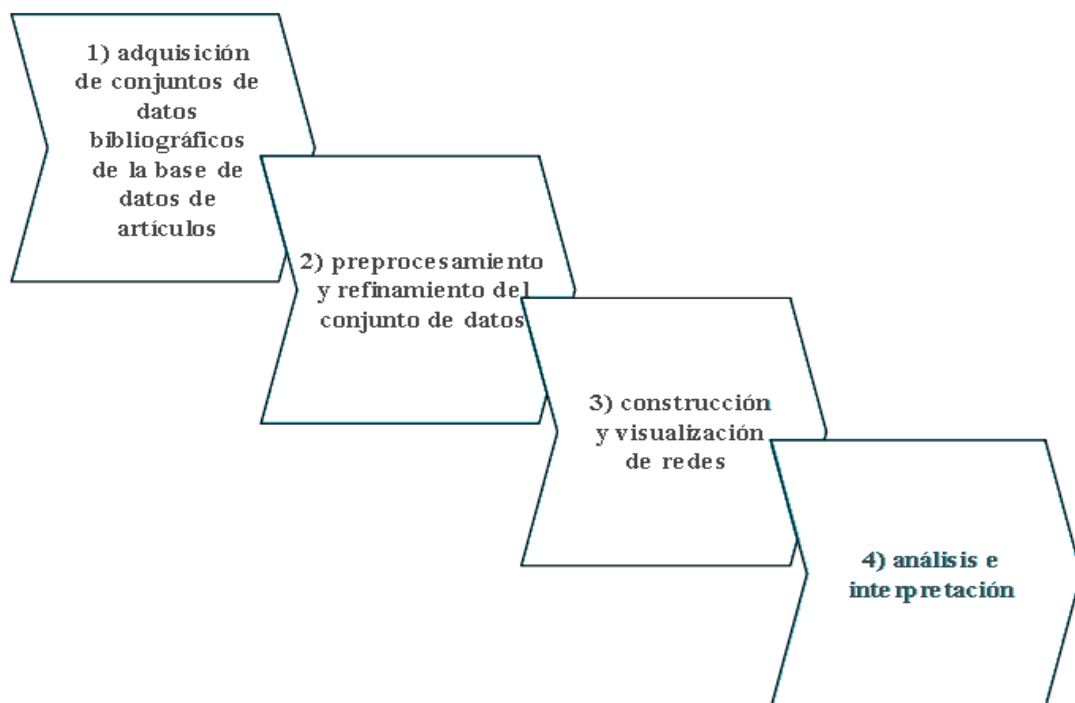
Los indicadores bibliométricos se originan con el propósito de medir la producción científica y analizar su influencia en la comunidad académica. En términos generales, estos indicadores se clasifican en dos categorías principales: los relacionados con los autores, que incluyen tanto indicadores individuales como de colaboración, y los

vinculados a las revistas científicas. Su función es proporcionar herramientas para entender mejor el alcance y la relevancia de la investigación realizada, así como para identificar patrones y tendencias en el ámbito académico (García & García, 2021).

Los estudios bibliométricos brindan oportunidades únicas para enriquecer la teoría y la práctica en diversos campos. Expertos y revistas de prestigio utilizan estos métodos para difundir trabajos influyentes, analizar el desarrollo de campos específicos y descubrir nuevas tendencias. Sin embargo, a menudo se cuestiona la falta de coherencia entre el análisis bibliométrico y la formulación teórica y su impacto en la mejora de la práctica profesional (Mukherjee et al., 2022).

Figura 2. Análisis bibliométrico en cuatro pasos

A partir de lo mencionado previamente, se llevó a cabo un estudio bibliométrico para examinar las conexiones y el efecto que ha tenido en los últimos cinco años la producción de filamentos PET. Este análisis se estructuró en cuatro etapas, las cuales se detallan en la figura 2.



Nota: basado en (Ghaffar et al., 2023; Han et al., 2020)

Paso 1. Adquisición de conjuntos de datos bibliográficos de la base de datos de artículos: Durante esta etapa, se realizó una investigación utilizando diversas bases de datos, incluyendo Scencedirect, Scopus, Dimensions y Scielo. Se emplearon términos clave como "productivity study", "productivity measurement" y " producción" con el

separador “AND” para obtener información relevante. Además, se optó por traducir estos términos al inglés con el objetivo de ampliar el alcance de la búsqueda y obtener resultados más completos.

Paso 2. Procesamiento y refinamiento del conjunto de datos: Para llevar a cabo esta etapa, se procedió a examinar minuciosamente los artículos obtenidos a través de la búsqueda, los cuales sumaron un total de 762 en la base de datos de Scienedirect y 28,969 en la base de datos de Dimensions. No obstante, con el objetivo de centrarse en estudios relevantes, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión. Estos criterios incluyeron la limitación de la búsqueda de artículos publicados en los últimos cuatro años, así como el enfoque en estudios relacionados con ingeniería y producción. Además, se optó por seleccionar estudios de caso o revisiones pertinentes. Al aplicar estos filtros, se redujo el conjunto de artículos para el análisis bibliométrico a 61 en la base de datos de Scienedirect y 31 en la base de datos de Dimensions.

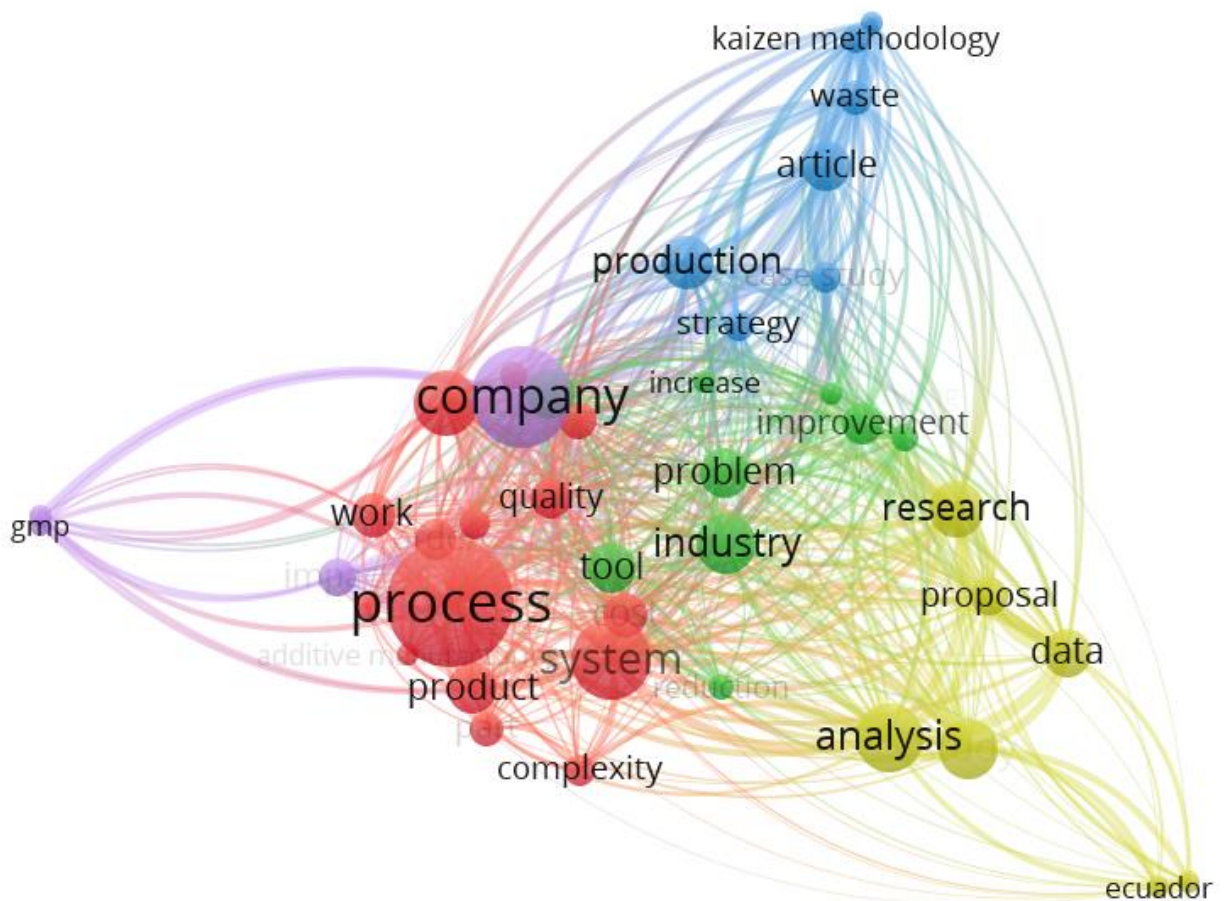
Paso 3. Construcción y visualización de redes: En la realización de esta fase, se empleó el programa VOSviewer y Gephi para analizar la totalidad de los datos recolectados de las bases de datos mencionadas en el segundo paso. Como resultado de este proceso, se generaron dos redes bibliométricas.

En la figura 3, del análisis bibliométrico se presentan las palabras claves con más ocurrencias (acontecimientos destacados) en la investigación de estudios de productividad en el período 2020-2024, siendo un total de 42 palabras claves. El primer clúster siendo liderado por la palabra proceso con mayor cantidad de enlaces de red que se ha relacionado en los artículos científicos del estudio de la productividad, es el que mayor colaboración tiene entre artículos y es representado de color rojo con otras palabras claves como: sistema, aplicación, producto y calidad.

En el segundo clúster se encuentra Industria, con 37 enlaces de red, está representado de color verde junto a las palabras herramientas, mejora, implementación y problema, El tercer clúster encabeza con 34 enlaces de red la palabra producción, representado por el color azul en conjunto de las palabras metodología Kaizen, caso de estudio, artículo y estrategia.

El cuarto clúster comienza con la palabra análisis asumiendo 35 enlaces de red, representado de color amarillo y enlazado estrechamente con las palabras investigación, datos, estudio y propuesta. En el quinto y último clúster se encuentra la palabra empresa con 37 enlaces de red, representada en morado, junto a las palabras impacto y buenas prácticas de manufactura.

Figura 3. Red bibliométrica de 5 clústers



Nota: Elaborado por el autor

Paso 4. Análisis e interpretación: Según las gráficas de análisis bibliométrico hechas por VOSviewer y para una mejor comprensión de la red bibliométrica se utilizaron los softwares Gephi y Power BI para la centralización de grados y la representación de nube de palabras respectivamente.

En la figura 4, se muestra como con el software Gephi comprobó el enlazamiento de grado de salida y entrada de cada uno de los nodos y aristas; por medio del grafo se pudo visualizar el grado de centralización, es decir, veces que se utilizaron ciertas palabras claves como la solución al problema o como el método utilizado en el caso de estudio de los diferentes artículos científicos.

Tabla 1. Las 42 palabras clave ordenadas por su ocurrencia y puntaje de relevancia

Id	Keyword	occurrences	Id	Keyword	relevance score
1	process	42	1	Ecuador	61.833
2	company	32	2	textile industry	51.872
3	system	25	3	gmp	30.832
4	analysis	21	4	sec	30.832
5	application	20	5	author	19.985
6	industry	18	6	kaizen methodology	18.737
7	study	18	7	surface roughness	15.692
8	research	17	8	waste	15.216
9	production	16	9	additive manufacturing	14.294
10	article	15	10	study	10.894
11	problem	15	11	article	10.582
12	product	15	12	product	9856
13	productivity	15	13	data	9723
14	tool	15	14	analysis	8804
15	data	14	15	order	8674
16	cost	13	16	impact	8652
17	work	13	17	part	8302
18	improvement	12	18	proposal	7418
19	order	12	19	complexity	7094
20	quality	12	20	operator	5511
21	impact	11	21	production	5403
22	production process	11	22	reduction	5398
23	proposal	11	23	process	5105
24	part	10	24	paper	5083
25	waste	10	25	work	5043
26	case study	9	26	tool	4639
27	complexity	9	27	quality	3738
28	paper	9	28	case study	3509
29	strategy	9	29	application	3025
30	implementation	8	30	strategy	2875
31	kaizen methodology	8	31	system	2848
32	operator	8	32	production process	2407
33	reduction	7	33	implementation	1993
34	surface roughness	7	34	increase	1988
35	additive manufacturing	6	35	lean manufacturing	1902
36	author	6	36	productivity	1756
37	ecuador	6	37	Company	1552
38	gmp	6	38	Industry	1302
39	increase	6	39	Cost	1195
40	lean manufacturing	6	40	improvement	971
41	sec	6	41	Problema	493

la eficiencia y eficacia del proceso, lo que se traduce mejora notable en la calidad del producto.

En el clúster 2 se deduce que el estudio de productividad en la industria ha revelado la importancia crítica de implementar herramientas eficaces para abordar problemas de eficiencia y rendimiento. La mejora continua es fundamental para mantener la competitividad en un entorno industrial de constante evolución.

En el clúster 3 se identifica que el análisis de productividad resalta la eficacia de la metodología Kaizen en la mejora continua de la producción industrial. A través del estudio de casos y la revisión de artículos, se evidencia cómo la implementación de esta estrategia ha generado resultados significativos en diversos entornos industriales.

En el clúster 4 se resalta el análisis exhaustivo de productividad realizado mediante la investigación, misma que ha permitido recopilar datos valiosos sobre el rendimiento industrial. A través del estudio meticuloso de estos datos, se ha identificado una serie de áreas de oportunidad, que sirve como base sólida para formular una propuesta de mejora.

Por último, en el clúster 5 se concluye que el papel fundamental de las buenas prácticas de manufactura es la optimización del rendimiento. Se evidencia que la implementación de estas prácticas no solo garantiza la calidad de los productos, sino que también tiene un impacto significativo en la eficiencia operativa y la rentabilidad de la empresa. A continuación, las tablas de ocurrencias y puntuación de relevancia de las palabras claves utilizadas ordenadas de mayor a menor.

En la tabla 2, se detallan los artículos que ayudan a identificar las herramientas para el estudio de productividad al momento de definir la metodología en la matriz referencial. La tabla está compuesta de los siguientes elementos: N°, autor año, herramientas, propósito y revista. En el apartado N° se establece una codificación numérica de los artículos para una mejor comprensión y sirve de guía, en autor y año. Permite reconocer a quién o quiénes pertenece el artículo y su año de publicación, desde el 2020 hasta los inicios de abril; en herramienta se otorga el conocimiento de las formas de medir y resolver problemas de la industria manufacturera; el propósito es la dirección en la que se va a enfocar la herramienta, y por último la revista, proporciona contexto de la calidad y reputación de las fuentes citadas.

Tabla 2. Matriz referencial de artículos

Nº	Autor(s) y año	Herramientas	Propósito	Revista
1	Argandoña et al. (2020)	Medición del desempeño	Evaluar de manera cuantitativa y cualitativa cómo la rugosidad superficial del material afecta el proceso conformado de aluminio.	Procedia Manufacturing
2	Mozos & López (2020)	Metodología de Medición de Tiempo MTM	Estandarizar los procedimientos y disminuir movimientos innecesarios.	Procedia Manufacturing
3	Realyvásquez et al. (2020)	Rediseño de planta industrial	Aumentar el índice de desempeño humano por medio de mejores puestos de trabajo basados en la antropología.	Sostenibilidad (Suiza)
4	Montoya et al. (2020)	Diagrama de Hombre-máquina	Proporcionar una visualización clara y detallada de la interacción entre los operarios humanos y las máquinas en el proceso productivo.	Journal of Industrial Engineering and Management
5	Herrera & Coronado (2021)	Revisión de la literatura	Establecer estrategias de búsqueda de manera cuantitativa y bibliométrica para realizar un análisis estadístico.	Production Engineering
6	Chacón et al. (2021)	Medición del desempeño	Determinar el rendimiento de la arquitectura de control propuesta, por la medición del desempeño, con el fin de	Journal of Intelligent Manufacturing

			evaluar su eficacia y eficiencia en los sistemas de suministro de agua bajo el paradigma de la Industria 4.0.	
7	Vazquez et al. (2022)	Medición del desempeño	Evaluar el impacto de las estrategias de asignación de búfer propuestas y ajustarlas según sea necesario para lograr un equilibrio óptimo entre la capacidad de respuesta del sistema y los costos asociados	Revista Facultad de Ingeniería
8	Canahua Apaza (2021)	Herramientas LM, Overall Equipment Effectiveness (OEE)	Mejorar significativamente la eficiencia general de los equipos (OEE), mediante la optimización de los procesos de producción y la reducción de pérdidas y desperdicios.	Industrial Data
9	Aldea (2021)	Mejora continua	impulsar la competitividad, la eficiencia y la excelencia en la empresa de envolturas flexibles, permitiéndole adaptarse y prosperar en un entorno empresarial dinámico y exigente.	Industrial Data
10	Vidal et al. (2022)	Análisis estadístico	Se buscó medir y evaluar la complejidad inherente a los sistemas de fabricación en entornos de flujo de trabajo y híbridos.	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
11	Abolghasem & Mancilla (2022)	Particle swarm optimization	Mejorar la calidad del producto y aumentar la productividad en el proceso de torneado de aluminio	Ingeniería y Universidad

mediante la optimización de los parámetros de mecanizado de manera eficiente y efectiva.

12	Lins et al. (2021)	Revisión de la literatura, Rediseño de planta industrial	Identificar estudios previos, casos de éxito y enfoques innovadores utilizados por otras empresas en contextos similares, reorganizar el espacio y los procesos dentro de la empresa de la industria del mueble, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, reducir los desperdicios y optimizar el flujo de trabajo.	Sustainability
13	Silvestre et al. (2022)	Herramienta LM	Los empleados fueron capacitados para reconocer y responder rápidamente a problemas y anomalías en la línea de producción, utilizando el sistema Andon para detener la producción y solicitar asistencia cuando fuera necesario.	Production
14	Lozano et al. (2022)	Revisión de la literatura	Establecer el contexto y comprender el estado actual de la tecnología de fabricación aditiva en la producción de moldes de inyección de polímeros. Esto incluye entender los avances recientes, las aplicaciones existentes y las limitaciones actuales en el campo.	Polymers

15	Pérez et al. (2022)	Medición del desempeño	Evaluar la calidad y la idoneidad de las piezas fabricadas utilizando el proceso de fabricación aditiva de fusión láser de polvo para aleaciones con memoria de forma de Cu-Al-Ni, así como para identificar áreas de mejora en el proceso de fabricación.	Materials
16	Araque et al. (2022)	Análisis estadístico	Analizar grandes cantidades de datos relacionados con el consumo de energía en el proceso de fabricación textil. Esto habría permitido identificar patrones y tendencias en el uso de energía, así como identificar áreas de ineficiencia que podrían ser abordadas para reducir el consumo de energía y mejorar la sostenibilidad.	Journal of Industrial Engineering and Management
17	Bravo (2022)	Revisión de la literatura, análisis estadístico	Validar y respaldar los hallazgos obtenidos a partir de la revisión de la literatura, así como para proporcionar evidencia empírica de las tendencias y los cambios en la industria textil a lo largo del tiempo.	Open Journal of Social Sciences
18	Mellado et al. (2022)	Rediseño de planta industrial	Optimizar la secuencia de actividades de mantenimiento y reparación, mejorando así la eficiencia y reduciendo los tiempos de inactividad de los equipos médicos esenciales.	Processes

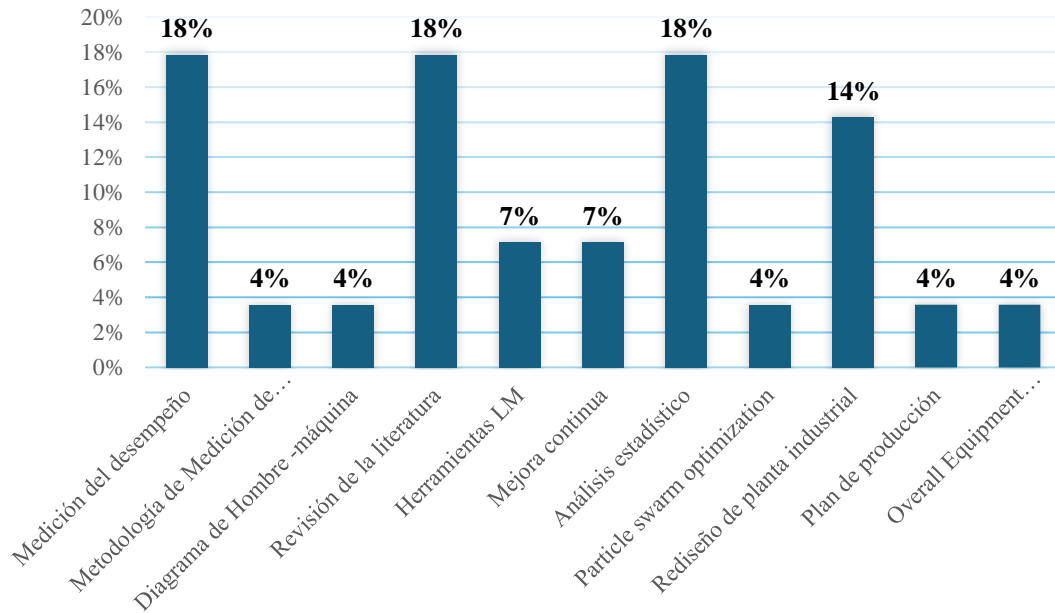
19	Sousa et al. (2022)	Revisión de la literatura	Definir y mejorar la comprensión de los términos utilizados en el ámbito de la manufactura sin defectos, contribuyendo así a una mayor claridad y coherencia en la comunicación dentro de este campo	Frontiers in Manufacturing Technology
20	Álvarez & García (2022)	Medición del desempeño	Identificar correlaciones entre las variables del proceso de fabricación de coque y la degradación de los refractarios silíceo, proporcionando información crucial para mejorar la eficiencia y la durabilidad de los materiales refractarios utilizados en la industria del coque.	Applied Sciences
21	Amigo et al. (2023)	Análisis estadístico	Estudiar cómo diferentes ángulos de filo de corte afectan el proceso de torneado del material mencionado. Esto implica la realización de pruebas prácticas y la recopilación de datos, así como el uso de modelos numéricos para comprender mejor los resultados experimentales.	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
22	Ramírez et al. (2023)	Plan de producción	Se utilizaron en el artículo para planificar y controlar la producción a gran escala de plantas de cacao in vitro. Estos documentos son fundamentales para organizar y	Bionatura

			ejecutar eficientemente la producción de plantas de cacao en el contexto de la multiplicación de plantas in vitro.	
23	Mena & Posada (2023)	Mejora continua	Proporcionar un enfoque estructurado para identificar áreas de mejora, implementar cambios efectivos y monitorear continuamente el desempeño del proceso de fabricación de plástico por inyección.	Energy Efficiency
24	Escudero-Villa (2023)	et al. Rediseño de planta industrial	Implementar un sistema de aislamiento acústico para mitigar el ruido y extender la utilidad de los equipos funcionales existentes en las instalaciones.	Sostenibilidad (Suiza)
25	Mares (2023)	Análisis estadístico	Estructurar el proceso de toma de decisiones, brindando una base sólida y sistemática para seleccionar el método de pegado de partes en calzado más adecuado, lo que puede mejorar la calidad y la eficiencia del proceso de fabricación de calzado.	Ingeniería Industrial

Nota: Elaborado por el autor

Para la selección de la metodología de estudio de productividad se toma de referencia la información recopilada de la matriz de referencia de los artículos científicos del análisis bibliométrico de la tabla 2, encontrando así, varias técnicas e instrumentos que se han utilizado en las diferentes investigaciones aplicadas en la matriz de artículos científicos como se muestra en la gráfica 1.

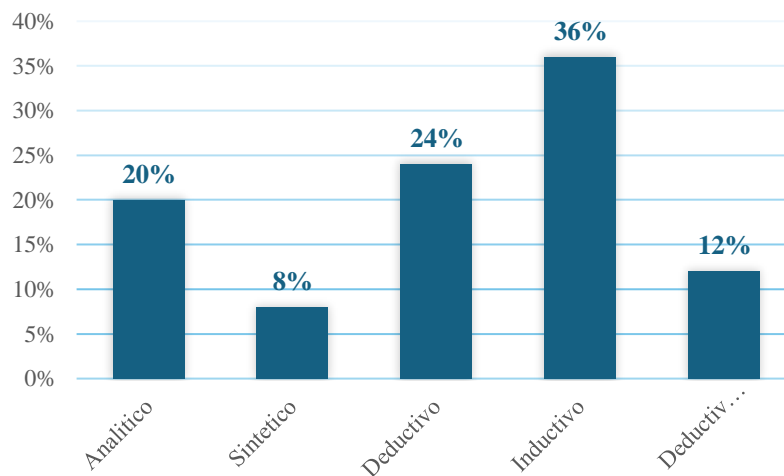
Gráfica 1. Herramientas para el estudio de productividad según artículos



Nota: Elaborado por el autor

En la gráfica 2, se muestran los métodos utilizados para la recolección de datos, en el que se destaca el método inductivo con un 36%, utilizado en la investigación.

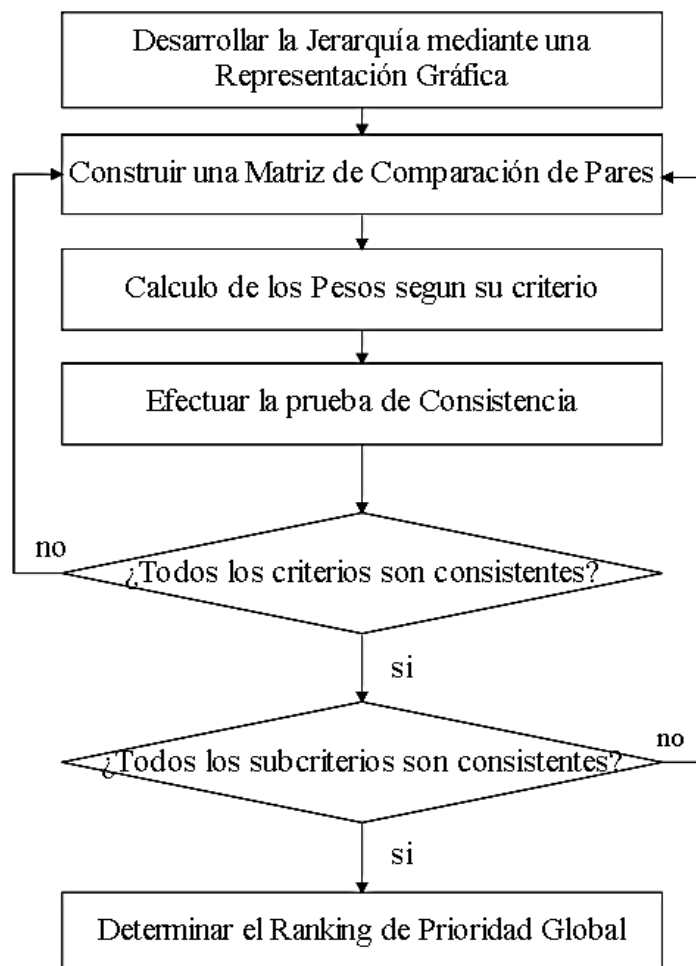
Gráfica 2. Método utilizado para recolección de datos



Nota: Elaborado por el autor

En la figura 6 se presenta un flujograma que ilustra el Proceso Jerárquico Analítico (AHP), metodología empleada para la toma de decisiones complejas y multifactoriales. Este enfoque metodológico se utilizó para evaluar y seleccionar las metodologías más adecuadas, empleadas por los autores de diversos artículos científicos incluidos en el análisis bibliométrico. El flujograma muestra claramente cada etapa del AHP, que comienza con la definición del problema y la identificación de los criterios de decisión, pasando por la estructuración jerárquica del problema en diferentes niveles, que van desde el objetivo principal hasta los criterios y subcriterios relevantes.

Figura 7. Flujograma del desarrollo de AHP



Nota: Elaborado por el autor

El flujograma también destaca la importancia de la consistencia en las comparaciones y la necesidad de ajustar cualquier inconsistencia significativa que pueda surgir durante el proceso de comparación por pares. La etapa final del AHP, según se

muestra en el flujograma, es la integración de los resultados para obtener una clasificación global de las alternativas, lo que facilita la selección de la metodología más adecuada para los fines específicos del análisis bibliométrico. Este enfoque meticuloso y sistemático garantiza que las decisiones sobre la selección de metodologías estén fundamentadas en un análisis riguroso y objetivo, que considera todas las variables relevantes y reduce la posibilidad de sesgos subjetivos.

A continuación, un breve resumen de cada uno de los pasos que se utilizaron para el método AHP en la toma de decisiones de la herramienta de estudio de productividad a utilizar del proyecto de investigación:

1.- Desarrollar la jerarquía del problema mediante una representación gráfica: Se plantea una estructura por niveles para comprender los diversos métodos y técnicas utilizados en el estudio de la productividad, todos agrupados.

2.- Construir una matriz de comparación de pares: En el proceso de toma de decisiones utilizando el método AHP de Saaty, se emplea una matriz de comparación para evaluar y ponderar los diferentes componentes de un mismo nivel. Esta matriz permite comparar cada par de componentes en términos de su importancia relativa respecto a un criterio específico.

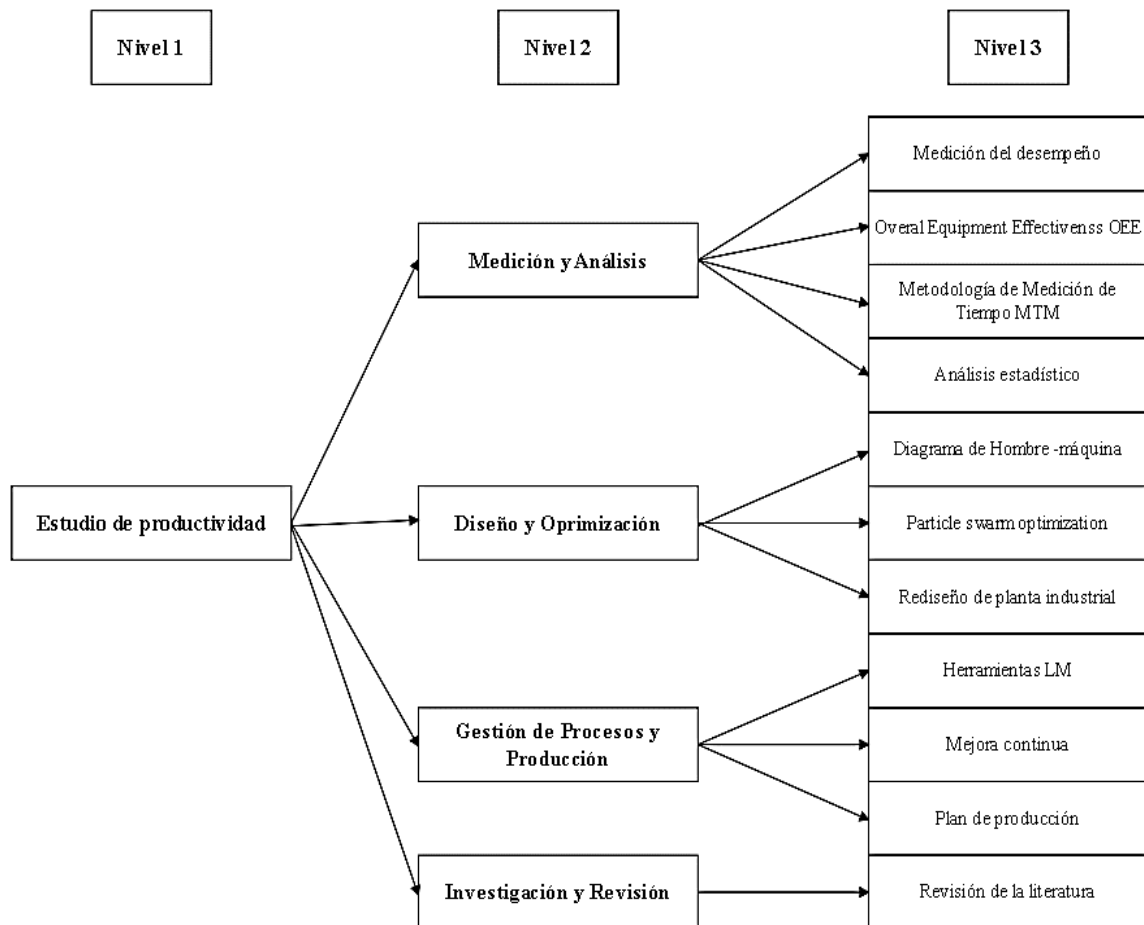
3.- Cálculo de pesos según su criterio: Con este cálculo se puede observar que criterio tiene más peso por encima de los demás. el cálculo del vector de pesos en el método AHP permite discernir qué criterios tienen mayor peso por encima de los demás, lo que brinda una guía sólida para tomar decisiones informadas y fundamentadas en una evaluación ponderada de los criterios relevantes.

4.- Efectuar la prueba de consistencia: Es el proceso donde la ponderación de los criterios se multiplica con el peso de cada criterio por medio de una multiplicación de matrices. Y estos son comprobados con el Ratio de consistencia (RC) en que si no es consistente se repetía el segundo paso, y cuando sea consistente se repite el proceso, pero con los subcriterios hasta que exista una consistencia aceptable.

5.- Determinar el ranking de prioridad global: Se enumera por medio orden jerárquico de mayor a menor el peso global de cada subcriterio para tener una mejor comprensión de los resultados.

En la figura 7, se presentan por medio de grupos las herramientas utilizadas en los artículos científicos para el estudio de productividad de cuatro componentes principales que son:

Figura 9. Herramientas para el estudio de productividad



Nota: Elaborado por el autor

Para crear una matriz de comparación de pares utilizado en el proceso analítico jerárquico, se deben asignar una valoración de juicios utilizando la escala Saaty.

En la tabla 3 se muestra el juicio de valor por medio de la escala Saaty.

Tabla 4. Escala de Saaty

Calificación numérica	Escala verbal de preferencia	Definición
1	Igual	Ambos elementos son de igual importancia.
3	Moderada	Moderada importancia de un elemento sobre otro
5	Fuerte	Importancia fuerte de un elemento sobre otro

7	Muy Fuerte	Importancia demostrada de un elemento sobre otro.
9	Extrema	Importancia absoluta de un elemento sobre otro
2,4,6,8	Términos medios	Valores intermedios, que se emplean para expresar preferencias que se encuentran entre dos de las anteriormente indicadas.

Nota: Basado en Saaty (1990)

A continuación, en la tabla 4 se muestra la matriz de comparación de pares W, las comparaciones de matrices incluyeron criterios en el nivel 2 que representan la agrupación de las herramientas de estudio de productividad que es de manera subjetiva, y sirve como punto de partida para la ponderación AHP, misma que servirá para encontrar la mejor herramienta del proyecto de investigación.

Tabla 5. Matriz de comparación de pares de nivel 2

Criterios	Medición y Análisis	Diseño y Optimización	Gestión de Procesos y Producción	Investigación y Revisión
Medición y Análisis	1	5	4	2
Diseño y Optimización	0,20	1	0,25	0,50
Gestión de Procesos y Producción	0,25	4	1	0,50
Investigación y Revisión	0,50	2	2	1
Sumatoria	2	12	7	4

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 5, se observa la matriz normalizada donde se obtuvieron los valores calculada con la siguiente fórmula $V_i = \frac{r_i}{\sum r_i}$ donde r_i son los valores de la matriz de comparación de pares y $\sum r_i$ es la sumatoria de las columnas de valores. Y el vector de pesos fue obtenida con la siguiente fórmula $w = \frac{\sum r_j}{n}$, donde $\sum r_j$ es la sumatoria de las filas de valores y n es el número de elementos.

Tabla 7. Matriz normalizada y vector de pesos

	Matriz normalizada				Vector de pesos (w)
Medición y Análisis	0,51282051	0,41666667	0,55172	0,5	0,49530283
Diseño y Optimización	0,1025641	0,08333333	0,03448	0,125	0,08634505
Gestión de Procesos y Producción	0,12820513	0,33333333	0,13793	0,125	0,18111737
Investigación y Revisión	0,25641026	0,16666667	0,27586	0,25	0,23723475
Sumatoria	1	1	1	1	

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 6 se muestra el cálculo de λw , se utiliza la multiplicación de matrices $\lambda w = W * w$; para saber si la matriz es consistente se procede a hacer la $\sum \lambda w$. Si la $\sum \lambda w = n$ significa que es perfectamente consistente y si $\sum \lambda w > n$ es porque existe inconsistencia, y para el cálculo de λ_j se utiliza la fórmula $\lambda_j = \frac{\lambda w}{w}$ y se calcula el promedio para conseguir el λ_{max} .

Tabla 8. Cálculo de consistencia λw

Criterios	Medición y Análisis	Diseño y Optimización	Gestión de Procesos y Producción	Investigación y Revisión	Vector de pesos w	λw	$\lambda_j = \frac{\lambda w}{w}$
Medición y Análisis	1	5	4	2	0,4953	2,1260	4,2923
Diseño y Optimización	0,20	1	0,25	0,50	0,0863	0,3493	4,0454
Gestión de Procesos y Producción	0,25	4	1	0,50	0,1811	0,7689	4,2455
Investigación y Revisión	0,50	2	2	1	0,2372	1,0198	4,2987
					$\sum \lambda w$	4,2640	$\lambda_{max} = 4,2205$

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 7, para el siguiente paso se necesita utilizar el Índice de Consistencia Aleatorio que obtuvo por simulación y se resume en la siguiente tabla.

Tabla 9. Índice de Consistencia Aleatorio

Tamaño de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de Consistencia Aleatorio (ICA)	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Nota: Basado en Saaty (1990)

Por último, se calcula el Índice de Consistencia (IC) y el Ratio de Consistencia (RC) con las siguientes formulas: a) $IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ y b) $RC = \frac{IC}{ICA}$ utilizando los valores de la tabla anteriormente mencionada, donde el tamaño de nuestra matriz es de 4, por lo que se utiliza un ICA de 0,89.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4,2205 - 4}{4 - 1} = 0,073496746$$

$$RC = \frac{IC}{ICA} = \frac{0,073496746}{0,89} = 0,082581$$

Si $RC = 0$ la matriz es consistente, si $RC \leq 0,10$ la matriz tiene una inconsistencia admisible por lo que se considera como consistente y el vector de pesos se admite como valido; si $RC > 0,10$ la inconsistencia es inadmisibles se debe revisar los pesos de la matriz. Como el valor de $RC = 0,082581$ significa que se considera la inconsistencia admisible.

En el siguiente paso se crean las matrices de subcriterios para conocer si existe consistencia en cada uno de los niveles; para ello, se utilizan las siguientes fórmulas de IC y RC.

En la tabla 8, se realiza todo el procedimiento antes detallado con los subcriterios de Medición y Análisis

Tabla 10. Matriz de subcriterios de Medición y Análisis

Medición y Análisis subcriterios	MD	OEE	MTM	AE	matriz normalizada				Vector de Prioridades W	λw	$\lambda_j = \frac{\lambda w}{w}$
Medición del desempeño	1,00	0,20	5,00	3,00	0,153061	0,1276596	0,35714	0,31579	0,23841328	1,00275727	4,20596228
Overall Equipment Effectiveness(OEE)	5,00	1,00	6,00	5,00	0,765306	0,6382979	0,42857	0,52632	0,58962280	2,70677263	4,59068512
Metodología de Medición de Tiempo MTM	0,20	0,17	1,00	0,50	0,030612	0,106383	0,07143	0,05263	0,06526384	0,26456700	4,05380665
Análisis estadístico	0,33	0,20	2,00	1,00	0,051020	0,1276596	0,14286	0,10526	0,10670007	0,43462341	4,07331888
SUMATORIA	6,53	1,57	14,00	9,50					$\sum \lambda w$	4,40872032	4,23094323

Nota: Elaborado por el autor

Debido a que la matriz es de 4x4, se utiliza la escala de Saaty donde el Índice de Consistencia Aleatoria debe ser de 0,89 por el número de subcriterios.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4,230943232 - 4}{4 - 1} = 0,076981077$$

$$RC = \frac{IC}{ICA} = \frac{0,076981077}{0,89} = 0,086495592$$

Siguiendo la regla, si $RC \leq 0,10$ es una inconsistencia admisible, entonces se puede decir que la RC de la matriz de los subcriterios de Medición y Análisis es consistente.

En la tabla 9, se realiza todo el procedimiento antes detallado con los subcriterios de Diseño y Optimización

Tabla 11. Matriz de subcriterios de Diseño y Optimización

Diseño y Optimización subcriterios	DHM	PSO	RPI	Matriz Normalizada			Vector de prioridades w	λw	$\lambda_j = \frac{\lambda w}{w}$
Diagrama de Hombre -máquina (DHM)	1,00	0,33	0,20	0,11111111	0,0625	0,1379310	0,10385	0,31389	$\lambda_j = \frac{3,022598}{w}$
Particle swarm optimization (PSO)	3,00	1,00	0,25	0,33333333	0,1875	0,1724138	0,23108	0,70889	3,0677029
Rediseño de planta industrial (RPI)	5,00	4,00	1,00	0,55555556	0,75	0,6896552	0,66507	2,10864	3,1705472
Sumatoria	9,00	5,33	1,45				$\sum \lambda w$	3,13142	$\lambda_{max} = 3,08694941$

Nota: Elaborado por el autor

Debido a que la matriz es de 3x3, se utiliza la escala de Saaty donde el Índice de Consistencia Aleatoria debe ser de 0,52 por el número de subcriterios.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,08694941 - 3}{3 - 1} = 0,043474704$$

$$RC = \frac{IC}{ICA} = \frac{0,043474704}{0,52} = 0,0836052$$

Siguiendo la regla, si $RC \leq 0,10$ es una inconsistencia admisible, por tanto, se puede decir que la RC de la matriz de los subcriterios de Diseño y Optimización es consistente.

En la tabla 10, se realiza todo el procedimiento antes detallado con los subcriterios de Gestión de Procesos y Producción.

Tabla 12 Matriz de subcriterios de Gestión y Producción

Gestión de Procesos y Producción subcriterios	HLM	MC	PP	Matriz normalizada			Vector de prioridades w	λw	$\lambda_j = \frac{\lambda w}{w}$
Herramientas LM (HLM))	1,00	0,50	1,00	0,25	0,272727	0,2	0,24091	0,72576	3,01257862
Mejora continua (MC)	2,00	1,00	3,00	0,5	0,545454	0,6	0,54848	1,66212	3,01038674
Plan de producción (PP)	1,00	0,33	1,00	0,25	0,181818	0,2	0,21061	0,63434	3,01199041
SUMATORIA	4,00	1,83	5,00				$\sum \lambda w$	3,02222	$\lambda_{max} = \frac{\lambda w}{w} = 3,01831859$

Nota: Elaborado por el autor

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,01831859 - 3}{3 - 1} = 0,009159294$$

$$RC = \frac{IC}{ICA} = \frac{0,009159294}{0,52} = 0,017614027$$

Siguiendo la regla, si $RC \leq 0,10$ es una inconsistencia admisible, se puede decir que la RC de la matriz de los subcriterios de Gestión de Procesos y Producción es consistente. Por último, en el criterio de Investigación y Revisión, al tener solo un subcriterio no necesita calcularse el vector de peso y es el mismo que del criterio, con un $IC = 1$ y siendo totalmente consistente con un $RC = 0$

En la tabla 11, se muestra el Ranking de Prioridad Global, donde una vez confirmado que $RC \leq 0,10$ de ambos niveles tengan una inconsistencia admisible se calcula el peso unitario por criterios y el peso global de varios niveles, finalmente se enumera de mayor a menor dependiendo del valor del peso global.

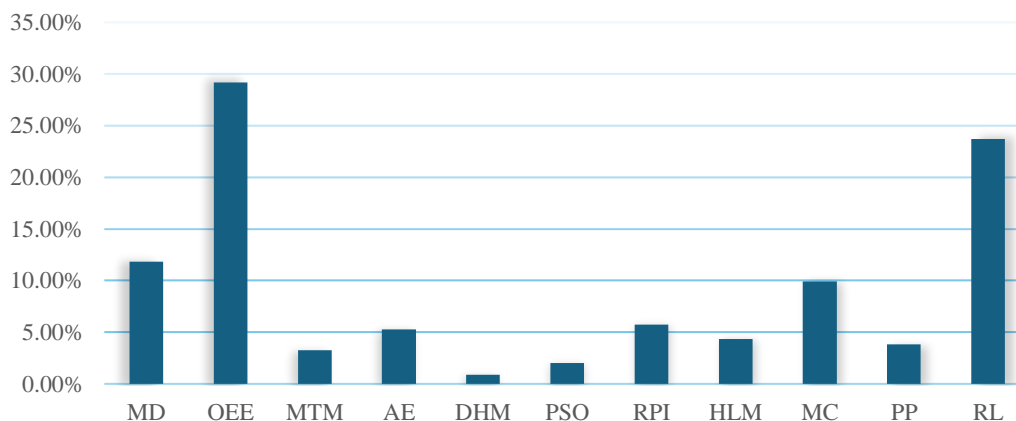
Tabla 13. Ranking de Prioridad Global

Criterio	Peso	Subcriterio	λ max	RC	Peso U	Peso G	Ranking
Medición y Análisis	0,4953	MD	4,23094	0,0865	0,23841	0,11808677	3
		OEE			0,58962	0,29204184	1
		MTM			0,06526	0,03232537	7
		AE			0,1067	0,05284885	5
Diseño y Optimización	0,0863	DHM	3,08695	0,08361	0,10385	0,00896671	11
		PSO			0,23108	0,01995282	10
		RPI			0,66507	0,05742552	6
Gestión de Procesos y Producción	0,1811	HLM	3,01832	0,01761	0,24091	0,04363282	8
		MC			0,54848	0,09934014	4
		PP			0,21061	0,03814442	9
Investigación y Revisión	0,2372	RL	1	0	1	0,23723475	2

Nota: Elaborado por el autor

En la gráfica 3, se representan por medio de columnas los porcentajes de importancia de los métodos de estudio de productividad valorados por el autor, donde el mayor puntaje es la Overall Equipment Effectiveness, seguido de la revisión de la literatura, por lo que se ha optado por utilizar estos métodos.

Gráfica 5. Ranking de Prioridad Global



Nota: Elaborado por el autor

Conclusión de los hallazgos del método AHP

Después de la ponderación y revisión de consistencia, se concluye que el método de medición de productividad es la medición de disponibilidad, rendimiento y calidad del proceso de producción de filamentos PET, con su debida revisión de la literatura para tener más peso teórico en el procedimiento metodológico a utilizar. Dentro del análisis bibliométrico se utiliza el diseño experimental para comprobar la calidad del producto.

1.3. Fundamentos Teóricos

1.3.1. Extrusión

La extrusión es una tecnología altamente exitosa en términos comerciales y está experimentando un aumento en su demanda de varios ámbitos de la industria alimentaria. Esto abarca desde el procesamiento de alimentos hasta el marketing digital de alimentos, como la impresión en 3D de alimentos, así como en el envasado de productos alimenticios (Prabha et al., 2021).

La extrusión es una técnica industrial que implica la fusión y conformación del plástico bajo presión y fuerza para lograr la forma deseada. Esta metodología se emplea para fabricar una amplia gama de productos de alta calidad y durabilidad, incluyendo carteras, tuberías de agua, envases, estuches, mangueras y especialmente filamentos.

1.3.2. Productividad

Según Medina (2010) la productividad se define como la manera que se emplean los recursos de producción para crear bienes y servicios para la sociedad, con el propósito de optimizar la eficiencia y la eficacia en su utilización. Es un objetivo esencial para las empresas, ya que sin ella los productos o servicios no pueden competir de manera efectiva en el entorno globalizado, lo que afecta su capacidad para mantenerse competitivos en el mercado

La productividad es fundamental para el progreso económico y para mejorar el nivel de vida. Para lograrlo, es esencial ser eficientes y efectivos, ya que esta combinación maximiza el uso de recursos, es decir, la productividad surge de la eficiencia y la eficacia, lo que impulsa el desarrollo económico y social (Franco et al., 2021).

Con lo anteriormente expuesto, se define a la productividad como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y los recursos utilizados para su producción.

Es una medida esencial de eficiencia que evalúa cómo se están utilizando los recursos disponibles, como materiales, mano de obra y capital, para generar productos o servicios.

1.3.3. Fabricación aditiva

La fabricación aditiva (AM) también conocida como impresión 3D es una técnica que utilizando extrusión ha experimentado una amplia adopción en la producción progresiva de prototipos y piezas tridimensionales, incluyendo aquellas con geometrías altamente complejas. En este proceso, se emplea la extrusión a través de una boquilla usando diferentes mecanismos como émbolo, filamento o tornillo. En algunos casos, es necesario calentar el material de alimentación previamente para disminuir su viscosidad y facilitar su extrusión de manera efectiva (Altıparmak et al., 2022).

La impresión 3D es definida por Alice (2023) como una tecnología de fabricación aditiva que crea objetos tridimensionales apilando capas sucesivas de materiales. Esta tecnología se puede utilizar en joyería, calzado, diseño industrial, arquitectura, ingeniería, construcción, aeroespacial, médica, educación, sistemas de información geográfica e ingeniería civil, etc.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

El estado del arte determinado desde un análisis bibliométrico en conjunto hasta el análisis técnico de toma de decisiones multicriterio que ayuda a seleccionar entre distintas alternativas basándose en una serie de criterios o variables, es un punto de partida para identificar la metodología a seguir. Por otro lado, otros criterios, como lo manifestado por Saaty (1990) AHP es un método cuantitativo que permite a los decisores estructurar sus problemas de decisión en una jerarquía de criterios y alternativas que lleva a la conclusión de utilizar el cálculo del OEE, además de la revisión de la literatura y el análisis estadístico. También se utilizó la centralización de grado para mostrar las redes de entrada y salida entre las referencias bibliográficas establecidas por el análisis bibliométrico. A continuación, detalle del marco metodológico.

2.1. Enfoque de investigación

Enfoque Cuantitativo: se emplea para producir datos numéricos y explorar conexiones entre distintas variables mediante el empleo de herramientas como análisis de regresión, pruebas de hipótesis y análisis de varianza (Hadi et al., 2023).

Basado en lo anteriormente mencionado, para el presente estudio de productividad se debe tener un enfoque cuantitativo, ya que con los datos numéricos se puede dar a conocer los resultados de eficiencia, eficacia e insumos, que son los factores que intervienen directamente en el cálculo de productividad; al mismo tiempo, en la variable de producción de filamento PET, se deben conocer varios indicadores que brindan las medidas de calidad, tiempo y rendimiento.

2.2. Diseño de investigación

Investigación Correlacional: se presenta cuando hay una conexión estadística o correlación entre dos o más variables, es decir, si las variaciones en una variable están de alguna manera relacionadas con las variaciones en otra variable (Vizcaíno et al., 2023).

Investigación Experimental: este tipo de investigación tiene como objetivo fundamental establecer relaciones causales entre variables al investigar el impacto de una variable independiente manipulada en una variable dependiente, mientras se controlan otros factores que podrían generar confusión (Vizcaíno et al., 2023).

Diseño Factorial: este diseño es adecuado para experimentos que involucran múltiples factores, ya que generalmente es el más eficiente. En este enfoque, se examinan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores (Fernández, 2020).

En la producción de filamento PET se debe tener un proceso estandarizado de las actividades que se necesitan para su correcta fabricación, por esta razón, se utilizó un diseño de investigación experimental, dado que, se deben conocer los factores de velocidad del motor, ancho de la cinta y calidad del producto, estos son factores que se deben experimentar y registrar. Como se muestra anteriormente, la variable independiente es la que manipula el investigador, en este caso, se manipula el proceso de producción y la variable dependiente es aquella que se mide, en este caso el estudio de productividad.

Al tener los factores de velocidad y ancho de cinta las iteraciones se muestran en la tabla 12, las iteraciones son calculadas con el número de factores y niveles. La velocidad tiene 2 niveles, y el ancho de cinta tiene 3.

Tabla 14. Iteraciones del diseño factorial

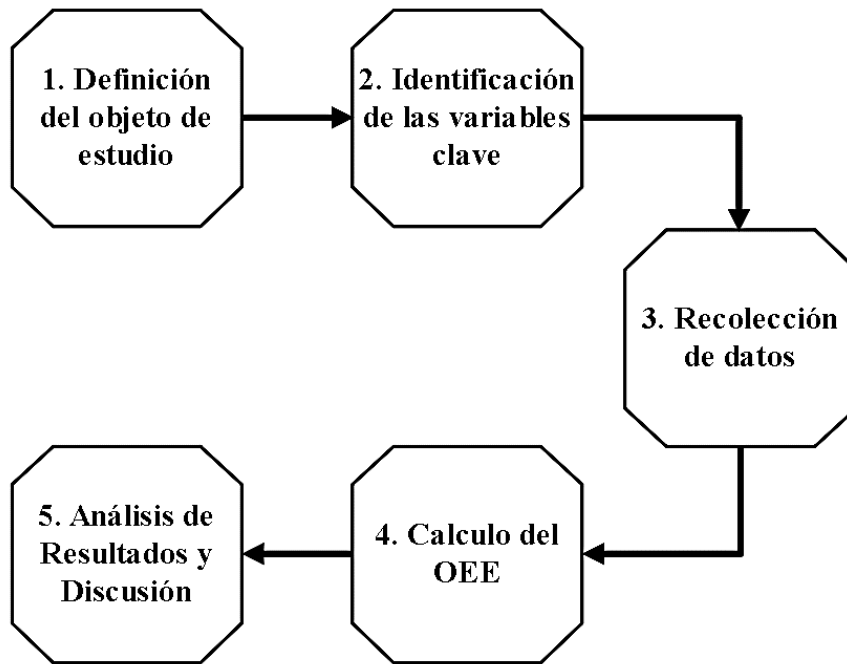
Iteraciones	Velocidad de Extrusión		Ancho de cinta		
	TIPO A 1,788 cm/s	TIPO B 2,325 cm/s	TIPO X 5,5-6,6mm	TIPO Y 6,5-7,5mm	TIPO Z 7,5-8,5mm
1	x		x		
2	x			x	
3	x				x
4		x	x		
5		x		x	
6		x			x

Nota: Elaborado por el autor

2.3. Procedimiento metodológico

Para el cálculo de la productividad se debe seguir un proceso establecido, por lo que, con el estado del arte, se obtuvo la herramienta de OEE para el cálculo de la eficiencia de la máquina extrusora. Y esta herramienta tiene diversos pasos que se especifican a continuación.

Figura 11. Proceso Metodológico



Nota: basado en Susanto et al. (2022)

En la figura 8, se muestra el proceso metodológico utilizado por Susanto et al. (2022), el cual calcula la eficiencia de una máquina de moldeo por inyección. A continuación, se detallan los pasos del proceso metodológico.

2.3.1. Definición del objetivo del estudio:

Establecer claramente el propósito de la investigación, como estudiar la productividad del proceso de producción de filamentos PET extrusora para constatar la fiabilidad del proceso.

2.3.2. Identificación de variables clave:

Determinar las variables relevantes que afectan la productividad de la máquina, como el tiempo de producción, los tiempos de inactividad planificados y no planificados, y la velocidad de operación, además del cambio de la longitud del filamento al momento de extruirse.

2.3.3. Recolección de datos:

Recopilar datos sobre las variables identificadas utilizando sistemas de monitoreo en tiempo real, registros manuales o software especializado. En este caso se utilizó el software SPSS para los cálculos de confiabilidad, normalidad y correlación

2.3.4. Cálculo del OEE:

Utilizar la fórmula del OEE, que combina las fórmulas de disponibilidad, el rendimiento y la calidad para calcular la eficiencia global del equipo. Lo que permite comprender la efectividad y el porcentaje de eficacia al momento de calcular la producción proyectada y la producción real.

2.3.5. Análisis de resultados y discusión:

Interpretar los resultados del cálculo del OEE para identificar áreas de mejora y oportunidades para aumentar la productividad de la máquina extrusora. Se interpretan los porcentajes para determinar las fallas en los tiempos y calidad del producto.

2.4. Delimitación de población o universo

Según Vizcaíno et al. (2023) la población abarca todos los individuos, objetos o eventos que comparten las características de interés para el investigador. Es crucial definir y delimitar adecuadamente la población para asegurar que los resultados puedan aplicarse a un conjunto más extenso. Hernández (2018) explica que una falla común en varios estudios de investigación es la falta de una descripción detallada de las características de la población, o la suposición de que la muestra es representativa de forma automática. Por esta razón, es decisivo definir claramente dichas características para determinar con precisión los parámetros muestrales. Existen 3 fallas comunes de la limitación del universo o población que se describen a continuación:

- 1) desestimar o no elegir casos que deberían ser parte de la muestra.
- 2) incluir casos que no deberían estar porque no forman parte de la población.
- 3) seleccionar casos que son verdaderamente inelegibles.

Por esta razón, en el desarrollo de la investigación se consultó la población de venta de bebidas en 2 cafeterías de la universidad: la primera cafetería es la central y la segunda por su proximidad con la facultad, evitando las 3 fallas mencionadas anteriormente, se decidió excluir las botellas que no son a base de PET, y para mayor facilidad de medición, se excluyeron botellas con diferentes gravados en su estructura. Por lo tanto, las botellas que están dentro de estos criterios son las botellas personales de agua.

2.5. Muestra

Como explica Del Cid et al., (2019), cuando la población es extensa o no es necesario estudiarla por completo, en lugar de investigar todos sus elementos, se elige una muestra representativa. Los métodos de selección de muestras difieren entre investigación cuantitativa y cualitativa. En la investigación cuantitativa, la información se generaliza a la población, asumiendo que las características de un grupo reducido son aplicables a toda la población.

En los diseños factoriales, según explica Fernández (2020) estos diseños pueden ser replicados o no replicados. En un diseño sin réplica, cada combinación se prueba una única vez, proporcionando solo una respuesta por combinación. Por otro lado, en un diseño con réplica, las combinaciones se pueden probar varias veces según sea necesario, generando múltiples respuestas por combinación. En este caso, se deben considerar todas las respuestas obtenidas.

Por lo anteriormente expuesto, se calcula la muestra de la población general de productos siendo estas una réplica de las iteraciones del filamento extruido de cintas PET, y a su vez se obtienen observaciones a diferentes momentos para evitar sesgos en los resultados, estos se los denominan Test Retest, donde no se cambia el instrumento, solo el momento de la recolección de datos.

En la tabla 13, se observan las muestras totales del estudio. se presenta un resumen de las mediciones del diámetro del filamento, con su respectiva codificación, el código se representa con A y B como las velocidades de extrusión de $1,788\text{cm/s}$ y $2,325\text{cm/s}$ respectivamente, X, Y y Z como la clasificación del ancho de cinta por medio de intervalos de $5,5 - 6,5\text{mm}$, $6,5 - 7,5\text{mm}$ y $7,5 - 8,5\text{mm}$, por último, la codificación de las observaciones para cada tipo de combinación.

Tabla 15. Muestras de estudio

Muestra	Velocidad de Extrusión		Ancho de cinta			Observaciones		Réplicas		ID Mediciones
	1,788 cm/s	2,325 cm/s	5,5-6,6 mm	6,5-7,5 mm	7,5-8,5 mm	Test	Retest	Réplica 1	Réplica 2	
1	x		X			x		x		AX1
2	x		X			x			x	AX2
3	x		X				x	x		AX3
4	x		x				x		x	AX4
5	x			x		x		x		AY1

6	x		x		x		x	AY2
7	x		x		x	x		AY3
8	x		x		x		x	AY4
9	x			x	x		x	AZ1
10	x			x	x		x	AZ2
11	x			x		x	x	AZ3
12	x			x		x	x	AZ4
13		x	x		x		x	BX1
14		x	x		x		x	BX2
15		x	x			x	x	BX3
16		x	x			x	x	BX4
17		x		x	x		x	BY1
18		x		x	x		x	BY2
19		x		x		x	x	BY3
20		x		x		x	x	BY4
21		x			x	x	x	BZ1
22		x			x	x		BZ2
23		x			x		x	BZ3
24		x			x		x	BZ4

Nota: Elaborado por el autor

2.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.6.1. Método

Se utilizó el método inductivo, significa que por medio de la observación repetida se concluye que los resultados se repiten, es decir, de lo particular a lo general (Medina et al., 2023).

De esta manera, con los datos obtenidos de diversas observaciones se puede concluir que los procesos son parecidos o no, dependiendo del análisis de confiabilidad que se obtenga en los procesos siguientes.

2.6.2. Técnica de recolección de datos

Se elaboró con la técnica de observación científica, Esta técnica implica la percepción de la realidad mediante instrumentos válidos y confiables. Se desarrolla a través de pasos como la atención, selección y registro de información, permitiendo al investigador obtener una visión holística de la realidad mediante sus sentidos (Suárez et al., 2022).

En conjunto, la técnica de observación científica se utiliza en el ábaco de Regnier como metodología para la validación del instrumento de datos que consta de tres pasos que se representan a continuación.

Figura 14. Fases de la metodología del Ábaco de Regnier



Nota: basado en Godet et al. (2000)

Fase 1: Recoger opinión de los expertos

Se define la problemática y se descompone en elementos o ítems, luego se expuso el objetivo de cada elemento que se atribuye la recolección de datos, cada experto de manera individual ejerce votación por cada elemento por medio de una escala de colores del semáforo verde, naranja y rojo que representan mucha importancia, duda y sin importancia, incluyendo también los colores verde claro y rojo claro que demuestra importancia y poca importancia, por último el color blanco que representa el voto en blanco.

Fase 2: Tratamiento de datos

Se hace una matriz de las respuestas de los expertos por medio de columnas y de los ítems por filas para tener un mejor panorama cualitativo de los resultados para así visualizar la posición de los expertos con los ítems establecidos.

Fase 3: Discusión de los resultados

En esta etapa, se inicia un debate y/o explicación sobre los votos obtenidos en fases anteriores. Los participantes discuten los resultados representados en el ábaco, que han sido coloreados previamente para interpretar y analizar los puntos en consenso y en disenso. Esta fase permite clarificar las opiniones, resolver dudas y llegar a conclusiones más precisas sobre el tema tratado.

2.6.3. Instrumento de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizó el instrumento ficha de observación, que son herramientas empleadas en investigaciones para recolectar datos de forma sistemática y estructurada durante observaciones en un contexto específico. Estas fichas son las que posibilitan a los investigadores a registrar información pertinente sobre eventos,

comportamientos, características o patrones observados directamente. A través de las fichas de observación, se documenta minuciosamente lo que sucede en un entorno particular (Vizcaíno et al., 2023).

2.7. Variables de estudio

2.7.1. Variable Independiente

La variable independiente es la que domina el autor en este proyecto, es la producción de filamento PET, que tiene diferentes factores que influyen en el producto y se deben encontrar para un producto de calidad. Los factores utilizados son: la velocidad del motor y el ancho de las cintas a partir de botellas de plástico.

2.7.2. Variable Dependiente

La variable dependiente como su nombre lo expresa, depende de los parámetros de la variable independiente y es la que el autor mide en este proyecto como el estudio de Productividad. Con el proceso del estado del arte se optó por usar el método OEE para la medición de efectividad con base a estos datos calcular la productividad.

2.7.3. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables es un proceso metodológico crucial en la investigación científica. Consiste en definir de manera clara y precisa cómo se van a observar y medir las variables de un estudio. Este proceso implica descomponer las variables en dimensiones e indicadores específicos, que pueden ser medidos de forma práctica y objetiva (Villavicencio et al., 2019).

Las variables están distinguidas en independientes y dependientes las que se explicaron en la sección 2.7.1 y 2.7.2, la definición conceptual de la variable es la idea que se forma mentalmente que está basada en libros, las dimensiones es la descomposición de la variable, de ser una variable compleja se descompone en múltiples dimensiones, las determinantes aseguran que la medición de las variables esté alineada con la teoría y el objetivo de la investigación. Los indicadores son los elementos concretos que afectan la variable, pueden ser causas directas o indirectas que generan cambios en la variable estudiada y finalmente, técnicas e instrumentos estas varían dependiendo de la naturaleza de las variables y del contexto de la investigación. Para este caso se utilizó la observación directa que registra eventos o fenómenos relevantes relacionados con la variable estudiada por medio de la ficha de observación.

En la tabla 14, se representan seis clasificaciones que son: variables, definición conceptual de la variable, dimensiones, determinantes, indicadores y técnicas e instrumentos.

Tabla 16. Operacionalización de las variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Determinantes	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Variable Independiente: Producción de Filamento PET	Cantidad de filamento generado por la máquina extrusora por un determinado tiempo	Proceso de corte de cintas PET Proceso de extrusión de filamento PET	Registro de tiempo de producción, inspecciones visuales en el proceso de producción	-Velocidad de extrusión -Tiempo de extrusión -Ancho de cinta PET -Diámetro de filamento -Longitud de cinta -Longitud de filamento -Calidad del filamento -Tiempo de impresión	Técnica de observación directa participante y de instrumento de ficha de observación
Variable Dependiente: Estudio de Productividad	Eficiencia y rendimiento de la máquina extrusora en términos de producción de filamento.	Medición de entradas y salidas del proceso de producción de filamentos PET	Rendimiento de material, tiempo de operación y tasa de defectos	-Eficiencia -Eficacia	

Nota. Elaborado por el auto

2.8. Procedimiento para recolección de datos

En la tabla 15, se muestran las etapas del procedimiento para la recolección de datos que se utilizó con su debida descripción, está dividido en 5 etapas que son descritas a continuación:

Tabla 17. Procedimiento para recolección de datos

Etapas	Descripción
Clasificación de procesos	Los diferentes procesos para la producción de filamentos PET son: corte de cintas, extrusión de filamento e impresión 3D.
Recolección de datos	Los datos adquiridos por medio de la ficha de observación, la observación es de manera individual con cambios de tiempo de observación para evitar sesgos.
Procesamiento de datos	Los datos son llevados a una base de datos donde se analizan por medio de software, en este caso se utilizó SPSS con licencia de prueba de estudiante.
Presentación de tablas de datos	Por medio de tablas se presentan los datos procesados obtenidos del software.
Presentación gráfica de datos	Esta presentación demuestra de manera más intuitiva como influyen los indicadores a la variable.

Nota: Elaborado por el autor

2.9. Plan de análisis e interpretación de resultados

En la tabla 16, se proporciona una descripción detallada de los procesos y las herramientas utilizadas para analizar e interpretar los resultados obtenidos al alcanzar los resultados de todas las establecidas en los objetivos específicos del estudio:

Tabla 18. Pan de análisis e interpretación de datos

N°	Objetivos específicos	Procedimientos	Instrumentos	Resultados esperados
1	Objetivo 1: Investigar la bibliografía existente a partir de un análisis bibliométrico y AHP para definir la variable de investigación.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis Bibliométrico 2. Método AHP 3. Grado de Centralización 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Software VOSviewer 2. Base de datos de Science Direct y Dimensions 3. Software Gephi 4. Software Power BI 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprender los procesos de búsqueda de información. 2. Determinar herramientas para el estudio de productividad.
2	Objetivo 2: Desarrollar un marco metodológico, mediante métodos y técnica de investigación para la recolección de datos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar la técnica e instrumento de recolección de datos. 2. Planear la validación del instrumento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ficha de observación de recolección de datos. 2. Método de validación del Ábaco de Regnier. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtener información de la población y muestra del objeto de estudio. 2. Estructura de recopilación de datos.
3	Objetivo 3: Proponer un proceso de producción de filamento PET por medio del cálculo de productividad para la producción de filamento para la Facultad de Ciencias de la Ingeniería.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ejecución de recolección de datos. 2. Medir la confiabilidad y validez de los resultados. 3. Elaboración del proceso de producción. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Software estadístico SPSS 2. Análisis Test Retest 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tabulación de datos 2. Determinar la productividad del proyecto.

Nota: Elaborado por el autor

CAPÍTULO III

MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Marco de resultados

En el capítulo II se estableció el proceso metodológico que se empleó en el proyecto de investigación, la cual sigue un enfoque cuantitativo, con el método inductivo, y el diseño experimental y correlacional, luego se estableció la población y muestra del proceso de producción PET con base a la calidad del producto, se diseñaron los diversos factores a estudiar los cuales influyen en la calidad final del filamento, para luego estructurar el instrumento utilizado para la recolección de datos, y a su vez la técnica de recolección de datos.

3.1.1. Validación por expertos

Para la validación de expertos se utilizó la metodología de validación del Ábaco de Regnier que consiste en la evaluación mediante una escala de colores, para la validación de expertos se utilizaron las fases proporcionadas por Godet et al. (2000).

Recoger opinión de los expertos

El proceso de recoger la opinión de expertos se dividió en diversas fases que son descritas a continuación: se definió y se identificó el problema con un proceso de descomposición en factores, seguido se estableció el propósito de cada parte.

La selección del grupo de expertos se realizó utilizando criterios de inclusión y exclusión, evaluando el cumplimiento de conocimientos, profesión, años de experiencia y el puesto desempeñado. Se seleccionaron tres expertos cualificados, con un ingeniero con experiencia en el diseño de experimental con más de 35 años de experiencia en el sector industrial para validar la ficha de observación. Estos expertos fueron considerados los más adecuados para la validación de la herramienta de recolección de datos (Anexo E, F y G).

Tratamiento de los resultados

Se construye una matriz en la que las respuestas de los expertos se organizan en columnas y los ítems en filas. Esto permite obtener una visión clara y cualitativa de los resultados, facilitando la comparación y análisis de las posiciones de los expertos respecto

a los ítems evaluados; en la tabla 17 se muestran las respuestas de los expertos basado en los anexos E, F y G.

Tabla 19. Matriz de comparación de juicio de expertos

N#	Preguntas	Respuesta declarada por escala de colores		
		Experto 1	Experto 2	Experto 3
1	Velocidad de Extrusión			
2	Tiempo de extrusión			
3	Ancho de cintas			
4	Longitud de cintas			
5	Diámetro de filamento			
6	Longitud de filamento			
7	Calidad del filamento			
8	Tiempo de impresión			

Nota: Elaborado por el autor

Discusión de los resultados

Los resultados de Ábaco de Regnier muestran que existe una opinión positiva con el instrumento de recolección de datos, con sus respectivas correcciones. Se consideraron los indicadores definidos en la operacionalización de las variables para formular los factores clave en la herramienta de recolección de datos empleada en la investigación.

3.1.2. Procedimiento para recolección de datos

Clasificación de procesos

En este apartado se dividen los procesos en grupos para tener mayor comprensión de los datos recolectados por el instrumento de estudio.

En el proceso de corte de cintas se realizaron 3 intervalos de cortes, en las cuales se señalaron por metro de cintas, esta señalización se encuentra en la mitad de la cinta para evitar errores de medición al momento de extruir.

En el proceso de extrusión de filamentos se tomaron los valores de velocidad, tiempo, diámetro y longitud de filamentos, en este último se observó un incremento de volumen y calidad de impresión para conocer qué tipo de filamento es el más productivo para la creación del proceso de fabricación.

En el proceso de impresión 3D se tomaron los datos del tiempo en que una impresora 3D fabrica una pieza con material reciclado, y también se recolecta el dato de que tan buena es la calidad de impresión.

Recolección de datos

En la tabla 18, se observan los valores obtenidos de diferentes observaciones del proceso. En este caso el valor de velocidad de extrusión proyectado es de 1,788 cm/s, este valor fue obtenido de la medición de la velocidad de la máquina sin hacer esfuerzos de extrusión, y el intervalo de la cinta de 5,5 a 6,5 mm como mínimos fueron obtenidos del cálculo del filamento proyectado (1,75 mm) calculando el perímetro de un círculo.

Tabla 20. Recolección de datos con factores AX

Ancho de cinta	Longitud de cinta	Tiempo de extrusión	Velocidad de extrusión real	Longitud de filamento	Diámetro de filamento	Calidad del filamento	Tiempo de impresión
6,15	100,2	79	1,39	110	1,69	3	9
6,05	100,9	82	1,40	115	1,72	4	9
6,04	100,5	79	1,38	109,7	1,72	4	9
6,16	101	81	1,41	114	1,71	4	9

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 19, se muestran los datos de los factores AY, los cuales están representados por la velocidad de 1,788 cm/s y el intervalo de cintas de 6,5 a 7,5 mm, se optó por estos valores para encontrar que factor es el que interfiere con los resultados.

Tabla 21. Recolección de datos con factores AY

Ancho de cinta	Longitud de cinta	Tiempo de extrusión	Velocidad de extrusión real	Longitud de filamento	Diámetro de filamento	Calidad del filamento	Tiempo de impresión
6,93	100,7	73	1,69	123,2	1,69	3	9
7,17	101,2	74	1,68	124,6	1,72	4	9
6,79	100,5	73	1,68	122,5	1,72	4	9
7,04	101,4	75	1,67	125,3	1,71	4	9

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 20, se encuentran los datos obtenidos de los factores AZ, se utilizó el intervalo de 7,5 a 8,5 mm, y una velocidad de 1,788 cm/s.

Tabla 22. Recolección de datos con factores AZ

Ancho de cinta	Longitud de cinta	Tiempo de extrusión	Velocidad de extrusión real	Longitud de filamento	Diámetro de filamento	Calidad del filamento	Tiempo de impresión
8,34	100,9	70	1,67	116,9	1,73	5	10
8,19	100,8	70	1,70	119,2	1,71	4	10
8,22	100,6	71	1,66	117,7	1,72	4	10
8,34	100,7	70	1,70	118,9	1,74	5	10

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 21, se encuentran los datos obtenidos de los factores BX, se utilizó el intervalo de 5,5 a 6,5 mm, y una velocidad de 2,325 cm/s, esta velocidad se obtuvo de la segunda configuración de velocidad del Arduino y se calculó con la máquina sin hacer esfuerzos.

Tabla 23. Recolección de datos con factores BX

Ancho de cinta	Longitud de cinta	Tiempo de extrusión	Velocidad de extrusión real	Longitud de filamento	Diámetro de filamento	Calidad del filamento	Tiempo de impresión
6,22	100,5	54	2,11	113,8	1,67	3	9
6,10	101,2	52	2,12	110,1	1,68	3	9
6,18	100,7	53	2,12	112,4	1,67	3	9
6,20	101,3	51	2,14	109,3	1,71	4	9

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 22, se encuentran los datos obtenidos de los factores BY, se utilizó el intervalo de 6,5 a 7,5 mm, y una velocidad de extrusión de 2,325 cm/s.

Tabla 24. Recolección de datos con factores BY

Ancho de cinta	Longitud de cinta	Tiempo de extrusión	Velocidad de extrusión real	Longitud de filamento	Diámetro de filamento	Calidad del filamento	Tiempo de impresión
6,7	101,8	53	2,28	121,2	1,7	4	9
6,99	101,9	55	2,27	125,1	1,73	5	9
6,96	102,1	55	2,27	124,7	1,73	5	9
6,79	101,7	54	2,27	122,6	1,71	4	9

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 23, se encuentran los datos obtenidos de los factores BZ, se utilizó el intervalo de 7,5 a 8,5 mm, y una velocidad de extrusión de 2,325 cm/s.

Tabla 25. Recolección de datos con factores BZ

Ancho de cinta	Longitud de cinta	Tiempo de extrusión	Velocidad de extrusión real	Longitud de filamento	Diámetro de filamento	Calidad del filamento	Tiempo de impresión
8,26	100,6	47	2,26	106,4	1,78	2	10
8,00	100,3	48	2,22	106,6	1,80	2	10
7,98	100,5	48	2,25	108,2	1,79	2	10
8,33	100,4	49	2,23	109,5	1,82	1	10

Nota: Elaborado por el autor

Procesamiento de datos

Se utilizó el software Excel para la base de datos de manera ordenada para luego ser procesada en el software SPSS Statistics 29 con la licencia de prueba gratuita ID 511655692, el cual sirvió para las pruebas de confiabilidad y validez del instrumento.

Presentación de tablas de datos

Con los valores previamente procesados, se presentan las diversas tablas que obtienen el coeficiente de fiabilidad, normalidad y correlación, separados en secciones que son descritas a continuación:

3.1.3. Análisis de confiabilidad Test Retest

Para el análisis de estabilidad o también denominado confiabilidad Test Retest se deben hacer 2 recolecciones de datos del mismo instrumento en un diferente momento, estos muestran que tan confiable es el instrumento a través del tiempo (Hernández, 2018). Con los valores obtenidos el procesamiento de casos no se excluye ningún dato en el software SPSS.

El coeficiente de correlación intraclase (ICC) se utiliza para medir la consistencia o acuerdo entre diferentes mediciones a través del tiempo. Este tipo de análisis es común en estudios donde se evalúa la fiabilidad de las mediciones repetidas. Para esta investigación como se muestra en la tabla 24, se correlacionaron las medidas del test y retest para su medición de fiabilidad por repetición.

Tabla 26 Confiabilidad Test Retest

Coeficiente de correlación intraclase							
	Correlación intraclase ^b	Intervalo de confianza al 95%		Prueba F con valor verdadero 0			
		Límite inferior	Límite superior	Valor	gl1	gl2	Sig
Medidas únicas	,985 ^a	,948	,995	120,491	11	11	<,001
Medidas promedio	,992	,973	,998	120,491	11	11	<,001

Modelo de efectos aleatorio de dos factores donde tanto los efectos de personas como los efectos de medidas son aleatorios.

a. El estimador es el mismo, esté presente o no el efecto de interacción.

b. Coeficientes de correlación intraclase de tipo A que utilizan una definición de acuerdo absoluto.

Nota: Elaborado por el autor con base a IBM SPSS

Análisis de los componentes de la tabla de coeficiente de correlación intraclase (ICC): las medidas únicas representan el coeficiente de correlación intraclase

para una sola medición. En este caso, el ICC es 0.985, indicando un alto grado de concordancia. Las medidas promedio representan el ICC para el promedio de múltiples mediciones. Aquí, el ICC es 0.992, indicando una consistencia aún mayor cuando se promedian las mediciones. Intervalo de confianza al 95% proporciona un rango en el cual se espera que el verdadero valor del ICC se encuentre el 95% del tiempo, en las medidas únicas el intervalo de confianza va desde 0.948 hasta 0.995, y en las medidas promedio el intervalo de confianza va desde 0.973 hasta 0.998, significa que la confianza es aceptable.

Prueba F con valor verdadero 0, el valor es de 120.491 para ambas medidas, indicando la estadística F calculada, y los g_{11} y g_{12} (grados de libertad), ambos tienen valores de 11, que son utilizados para calcular la significancia estadística. Y, por último, sig (significancia) que es menor a 0.001 para ambas medidas, indicando que los resultados son altamente significativos y no se deben al azar.

3.1.4. Prueba de normalidad

Se plantea la hipótesis nula e hipótesis alterna de normalidad de la siguiente manera:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

H_1 : Los datos no siguen una distribución normal

Se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk al tener datos menores a 50 y por su sensibilidad de medición, esta evalúa si los datos provienen de una distribución normal (Caya & Vásquez, 2022). En la tabla 25, se muestran los datos procesados para la prueba de normalidad, estos son de los 2 factores con sus respectivas observaciones.

Tabla 27. Resumen de procesamiento de casos de normalidad

	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
TEST	12	100,0%	0	0,0%	12	100,0%
RETEST	12	100,0%	0	0,0%	12	100,0%

Nota: Elaborado por el autor

En el criterio de decisión se estableció que,

si: $p - valor < 0,05$ se rechaza la H_0

si: $p - \text{valor} \geq 0,05$ se acepta la H_0 y se rechaza la H_1

En la tabla 26, se muestra la tabla de pruebas de normalidad de Shapiro Wilk donde si el valor de p es mayor a 0,05 los datos siguen una distribución normal, y si el valor de p es menor a 0,05 los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 28. Prueba de normalidad Shapiro Wilk

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TEST	,185	12	,200*	,903	12	,174
RETEST	,179	12	,200*	,896	12	,141

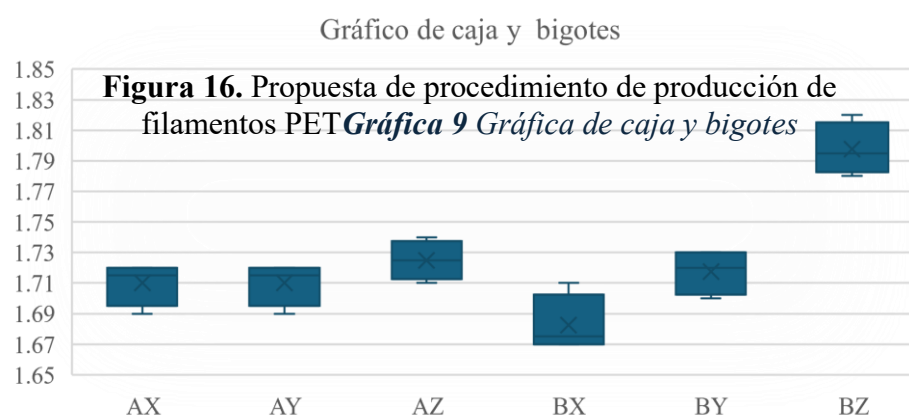
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaborado por el autor en base a IBM SPSS

Tomando en cuenta los datos anteriormente procesados, se procedió a establecer en la gráfica 4 una representación gráfica de caja y bigotes, donde se logran visualizar la normalidad de los datos como lo son; la media, y cuartiles de cada muestra del diseño factorial.

Gráfica 8 Gráfica de caja y bigotes



Nota: Elaborado por el autor

Análisis de los componentes de la tabla de pruebas de normalidad. Shapiro Wilk:

Para test, el valor p es 0.174 y para retest es 0.141, ambos mayores al nivel de significancia de 0.05. No hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad. Por lo tanto, se puede concluir que los datos siguen una distribución normal.

3.1.5. Verificación de la hipótesis

Según Hernández (2018), si la distribución es normal el análisis estadístico por utilizar es paramétrico, el coeficiente de correlación de Pearson es una herramienta estadística paramétrica ampliamente utilizada en la investigación para evaluar la relación entre dos variables. Este coeficiente, también llamado coeficiente de "momento producto", puede oscilar entre -1 y +1, a su vez, el cálculo implica analizar las puntuaciones de una muestra de datos, relacionando las puntuaciones de una variable con las de otra dentro de los mismos elementos seleccionados (Hernández, 2018).

En la tabla 27, se presentan la interpretación de los coeficientes de correlación de Pearson.

Tabla 29. Interpretación de coeficiente de correlación de Pearson

Coeficiente (r)	Interpretación de la correlación Pearson
-1	Correlación negativa perfecta
-0,90	Correlación negativa muy fuerte
-0,75	Correlación negativa considerable
-0,50	Correlación negativa media
-0,25	Correlación negativa débil
-0,10	Correlación negativa muy débil
0	No existe correlación alguna entre variables
0,10	Correlación positiva muy débil
0,25	Correlación positiva débil
0,50	Correlación positiva media
0,75	Correlación positiva considerable
0,90	Correlación positiva muy fuerte
1	Correlación positiva perfecta

Nota: Elaborado por el autor basado en Hernández (2018)

Para la realización de la prueba estadística con el coeficiente de Pearson se nombran las variables de estudio y con base a estas se desarrollan las hipótesis del estudio.

VI: Producción de filamento PET

VD: Estudio de productividad

Hipótesis nula (H_0): La producción de filamento PET para impresoras 3D no aumentará la productividad de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

Hipótesis alternativa (H_1): La producción de filamento PET para impresoras 3D aumentará la productividad de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

Comprobación de la hipótesis mediante la correlación de Pearson

Para confirmar la hipótesis de esta investigación, se analizaron los resultados obtenidos de la ficha de observación en relación con las variables estudiadas, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson a través del software IBM SPSS Statistics.

Condición de decisión

Para aceptar la hipótesis nula (H_0), el valor calculado de $p > 0,05$

Para aceptar la hipótesis alternativa (H_1), el valor calculado de $p < 0,05$

En la tabla 28, se puede observar el coeficiente de correlación de Pearson que indica que hipótesis se debe rechazar.

Tabla 30 Coeficiente de correlación de Pearson

		Correlaciones	
		VI	VD
VI	Correlación de Pearson	1	,984**
	Sig. (bilateral)		<,001
	N	12	12
VD	Correlación de Pearson	,984**	1
	Sig. (bilateral)	<,001	
	N	12	12

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota: Elaborado por el autor

La tabla anterior muestra una fuerte correlación positiva entre las variables independientes (VI) y dependientes (VD) con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.984, lo cual es estadísticamente significativo con un valor p menor a 0.001. Esta alta correlación indica que a medida que una variable aumenta, la otra también tiende a aumentar de manera proporcional. Dado que el nivel de significancia es menor a 0.01, se puede afirmar con un alto grado de confianza que esta correlación no es producto del azar. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta que:

Hipótesis alternativa (H_1): La producción de filamento PET para impresoras 3D aumentará la productividad de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

3.2. Propuesta

3.2.1. Tema

“Propuesta de producción de filamento PET en la facultad de ciencias de la ingeniería”

3.2.2. Introducción

El plástico termoplástico denominado tereftalato de polietileno (PET) es una policondensación del ácido tereftálico con el glicol etilénico. El PET puede ser procesado por varios métodos para fabricar una gran cantidad de productos, como bolsas, botellas, y también bobinas de filamentos llamados hilos PET (Rodríguez et al., 2021). Al tener gran uso como envasador para la industria alimentaria, la generación de residuos de envases de PET es muy importante y, en los últimos años, ha sido una prioridad para las administraciones gestionar de manera racional dichos residuos tanto para minimizar el impacto ambiental como para aprovechar las materias primas secundarias que se obtienen del reciclaje del PET (Hernández et al., 2023). Existen varias formas de producir filamentos con una incipiente industria que recicla botellas de PET para fabricar filamento por medio de la trituración y extrusión (Ramos & Lombana, 2019).

La extrusión, por su diseño simple y versátil, es muy utilizado en una gran cantidad de productos. En el reciclado de PET el proceso más utilizado es la extrusión, por ello y por encontrarlo de interés, es necesario centrar solamente en los procesos de extrusión (Meza et al., 2022). Por el contrario, la forma menos utilizada es la obtenida a partir de la síntesis de polímeros denominada polimerización. Como ya se ha mencionado, en esta se disuelven los monómeros y se polimeriza, y luego se solidifica en forma de gránulos, obteniendo PET granulado. Esto puede ser utilizado para formar envases por inyección o extrusión. La síntesis de polímeros también se puede dar de forma natural, directamente a partir de las materias primas, poli condensando los monómeros en la fase de desarrollo de las cadenas moleculares (Balarezo & Reaño, 2019).

Existen diversas utilidades del acabado para el proceso de extrusión de PET, para Babañoli et al. (2023) las máquinas extrusoras están diseñadas en operar los niveles de presión, temperatura y fuerza, que las hacen moldeables para obtener la forma deseada como en este caso los postes. De acuerdo con Vigo & Turpo (2021) el proceso de extrusión de PET añadiendo cierto porcentaje de arena fina que anteriormente fue tratada

para eliminar la humedad, puede llegar a obtener un valor de 220,6 kg/cm² para la producción de adoquines.

3.2.2.1. Importancia del reciclaje de plásticos PET en la industria actual

La purga en cualquier producto que tiene retención de la materia prima en el proceso de inyección, que no cumpla con las normas de calidad establecidas en la industria, no tiene un uso específico, puesto que no se puede determinar la aplicación final a las mezclas que contienen dicha materia prima al ser considerada como un producto reciclado (Torres, 2023). Sin embargo, la gran mayoría se utiliza para fabricar la materia prima PET, la cual se forma a partir de la reacción de glicol con ácido tereftálico. Se utiliza para el proceso de inyección de envases plásticos. Además, algunos productos juegan un papel importante en la fabricación de diferentes productos, como envases para bebidas gaseosas, fabricación de cintas de botella, fabricación de poliéster plástico, fleje para el embalaje de paquetes y su uso también para la fabricación de botellas que pueden estar sometidas a la esterilización y degradación en forma ambiental (Holguín & Montes, 2024).

3.2.2.2. Justificación del estudio

La extrusión requiere de poco personal, y la inversión en equipos es relativamente baja si se compara con el tamaño de las líneas de producción. Los sistemas de producción pueden ser de línea recta o en forma de U (Guerra, 2021). El sistema en línea recta es cuando la posición de la extrusora y bobinadora está uno junto al otro, no se requiere de una red de adquisición de datos, no requiere sala de conteo de sacas (antiguo acopio), hay mantenimiento únicamente de los equipos productivos. Mientras que el sistema de U cuenta con un sistema de control de datos, un área de acopio de la producción, la cual puede conectarse directamente al sistema productivo mediante un transportador de sacas y una sala de control de sistema automático (Corral & Barcia, 2022). Debido a que el PET proviene del etilenglicol (29% en peso) y ácido tereftálico (71% en peso), posee las mismas propiedades que el Poliéster Alifático lineal (LAP), pero con la ventaja de ser un termoplástico. Se moldea a través de inyección, soplado o templado (Cywar et al., 2022).

Por medio de la sección 1 se puede comprender los procesos de búsqueda de información y determinar herramientas para el estudio de productividad por medio del estado del arte, en la sección 2 se obtuvo información de la población y muestra del objeto

de estudio con la estructura de recopilación y procesamiento de datos y por último, en la sección 3 se comprueba la hipótesis alternativa que proporciona la justificación de que la producción de filamentos PET aumentará la productividad de impresión 3D en la facultad de Ciencias de la Ingeniería. Por lo tanto, con los datos anteriormente recopilados se inicia con la investigación cuantitativa de que tan productiva sea la propuesta.

3.2.2.3. Objetivos de la investigación

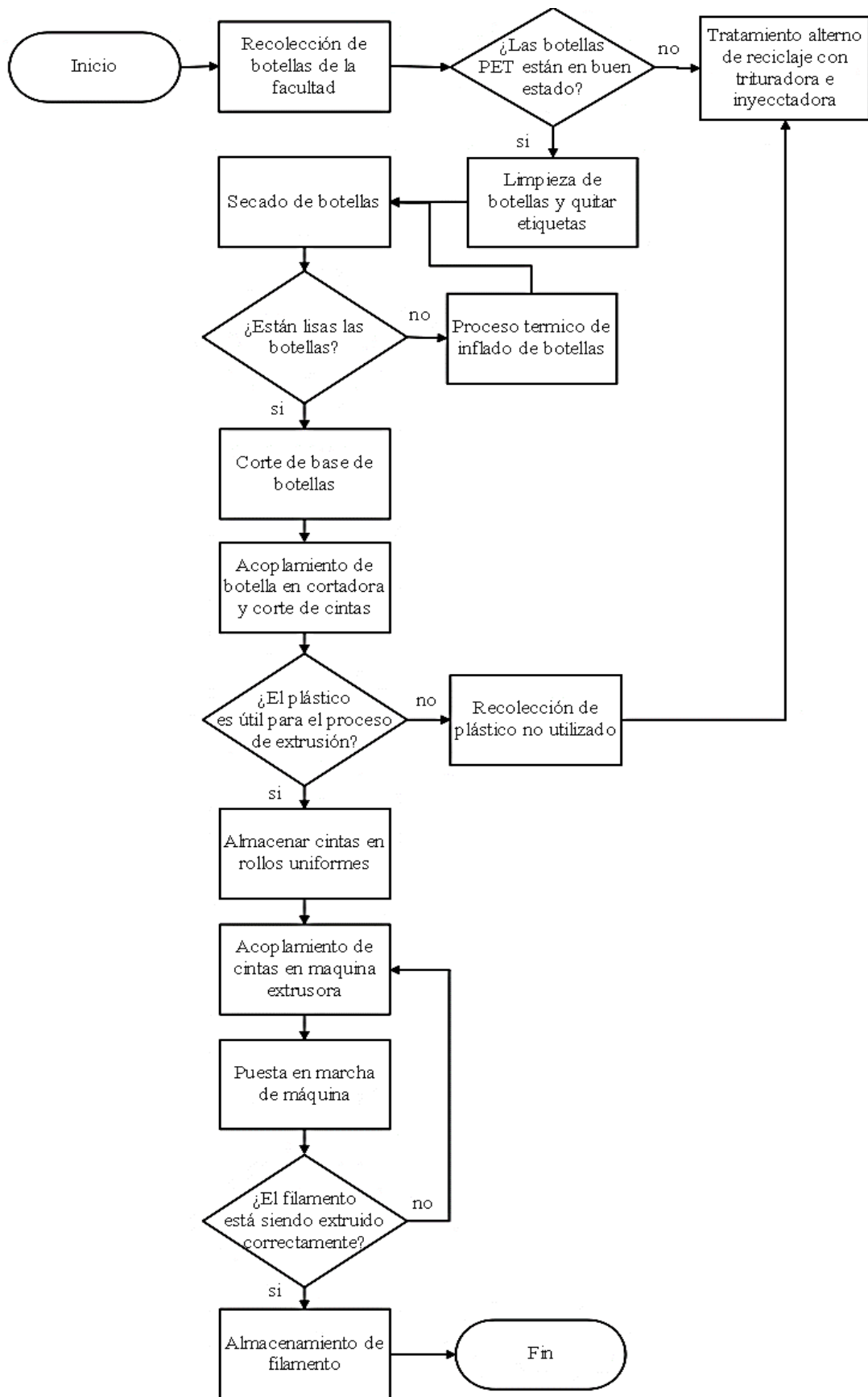
- Analizar las utilidades y propiedades del PET y su producción de filamentos mediante la investigación de casos de estudio para comprender sus parámetros.
- Establecer los procedimientos de producción de filamento PET mediante un flujograma para estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería.
- Estudiar la efectividad del proceso mediante la OEE para definir la productividad.

3.2.3. Metodología

La fabricación de filamentos PET a partir de cintas PET recicladas es un proceso innovador que contribuye a la economía circular al reutilizar materiales plásticos desechados. Este proceso no solo ayuda a reducir la cantidad de residuos plásticos, sino que también proporciona una fuente sostenible de materia prima para la impresión 3D. El PET es un polímero ampliamente utilizado en la producción de envases y botellas debido a sus propiedades mecánicas y térmicas favorables, como alta resistencia y durabilidad.

En la figura 10. Se muestra el flujograma propuesto de las diversas etapas para el proceso de producción de filamentos PET, desde la recolección de botellas PET, pasando por el proceso de limpieza y corte de cintas, para llegar al proceso de extrusión de filamentos y finalmente ser utilizados para la impresión 3D.

Figura 17. Propuesta de procedimiento de producción de filamentos PET



Nota: Elaborado por el autor

3.2.3.1. Materiales y Equipos

En la tabla 29, se muestran los materiales y equipos utilizados para el proceso de corte de botellas y de producción de filamentos PET, desde el aspecto tecnológico, pasando por los componentes mecánicos, hasta los equipos de protección personal.

Tabla 31. Materiales y equipos para la producción de filamentos PET

	Componentes de extrusión
	Termostato W1209
	Termistor NTC 100 k y cartucho calefactor 12 V
	Diodo 1N5408
	Bloque calefactor
TECNOLÓGICO	Boquilla
	Componentes de pull
	Motor Stepper Nema 17
	Driver para motor Stepper TB 6600
	Arduino nano
	Pantalla LCD 2 x 16
	Modulo I2C
	Pulsadores
	Alimentación 12 V 20 A
	Cables, estaño, cinta, tubo termo retráctil
MECÁNICO	Madera
	Arandelas y tornillos
	Rodamientos
	Varilla roscada 8 mm
	Varilla roscada 5 mm
EQUIPOS	Mascarillas
	Guantes anticorte
	Pinza
	Tijera
	Cuchillas de estilete

Nota: Elaborado por el autor

3.2.4. Resultado

El OEE (Overall Equipment Effectiveness) es una métrica utilizada para evaluar la eficiencia de un equipo de producción. Se calcula utilizando tres factores clave: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad. A continuación, se descomponen las fórmulas involucradas:

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad \quad (1)$$

3.2.4.1. Disponibilidad

La fórmula de Disponibilidad se utiliza para medir el tiempo en que un equipo de producción está realmente disponible para operar en comparación con el tiempo planificado. La fórmula es:

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ de\ operación}{Tiempo\ planeado\ de\ producción} \times 100\% \quad (2)$$

El tiempo de operación se refiere al tiempo total en que el equipo está funcionando sin interrupciones. Incluye solo el tiempo efectivo de producción y excluye cualquier tiempo de inactividad planificada o no planificada.

$$\begin{aligned} &Tiempo\ de\ operación \\ &= Tiempo\ planificado\ de\ producción - Tiempo\ de\ inactividad \end{aligned} \quad (3)$$

El tiempo planeado de producción es el tiempo total programado para que el equipo esté en funcionamiento, que incluye todo el tiempo disponible para la producción, excepto los tiempos de parada planificados (por ejemplo, mantenimientos programados).

$$\begin{aligned} &Tiempo\ planeado\ de\ producción \\ &= Disponibilidad\ total - Tiempo\ de\ inactividad\ planificado \end{aligned} \quad (4)$$

El tiempo de inactividad y el tiempo de inactividad planificado son parecidos, el cambio se establece en el tiempo de avería, por lo que las averías no son planificadas, pero si pueden ser controladas.

$$\begin{aligned} &Tiempo\ de\ inactividad \\ &= Tiempo\ de\ avería + Configuración\ y\ ajuste \\ &+ tiempo\ de\ extracción \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &Tiempo\ de\ inactividad\ planificada \\ &= Configuración\ y\ ajuste + tiempo\ de\ extracción \end{aligned} \quad (6)$$

En la tabla 30, se muestran los elementos la inactividad planificada y no planificada por botellas, con sus respectivos valores en minutos

Tabla 32. Tiempos de inactividad por botellas

Inactividad planificada		Inactividad no planificada
Configuración y ajuste	Tiempo de extracción	Tiempo de avería
1,10	1,15	0,5

Nota: Elaborado por el autor

Para el cálculo de la disponibilidad es necesario conocer la producción diaria y mensual de los filamentos PET con base a los filamentos que se encuentran en el mercado. Tomando en cuenta los tipos de filamentos que se utilizaron en el estudio se debe establecer el parámetro de anchura y velocidad de los filamentos. A continuación, se muestran los intervalos de decisión para la toma de decisiones del filamento con mayor calidad.

1,73mm a 1,77mm = Excelente calidad

1,70mm a 1,73mm = Calidad aceptable

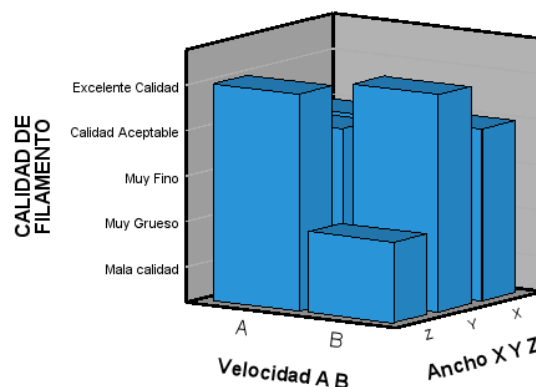
1,66mm a 1,70mm = Muy fino

1,77mm a 1,80mm = Muy grueso

Fuera del intervalo = Mala calidad

Como se puede observar en la gráfica 5, se clasificaron los valores de velocidades y ancho de cintas y el respectivo valor de calidad, cuyos factores que tienen mayor calidad son los de AZ y BY, aunque en los anexos J y M, se muestran observaciones en las que las cintas con el ancho de Z causan atascos en la maquinaria por lo que se descartaría este factor, lo que da el resultado de que utilizará el filamento de BY.

Gráfica 11. Gráfica de barras de calidad de filamentos



Nota: Elaborado por el autor con el programa SPSS

Teniendo en cuenta los valores recolectados de la tabla 21 de BY, se toman en cuenta el tiempo de extrusión/metro es de 55 seg/metro, el porcentaje de alargamiento del filamento es de aproximadamente de 23%, la longitud de una botella personal es de 4,5 metros y una jornada laboral es de 8 horas que en minutos son 480 minutos, pero como para iniciar los procesos hay un cierto intervalo de error se tomaron 7,5 horas lo que equivale a 450 minutos.

$$\text{Tiempo de extrusión de botellas} = \frac{\text{cinta} * \text{tiempo de extrusión}}{60 \text{ seg/min}} \quad (7)$$

$$\text{Tiempo de extrusión de botellas} = \frac{4,5 \text{ m/botella} * 55 \text{ seg/m}}{60 \text{ seg/min}}$$

$$\text{Tiempo de extrusión de botellas} = 4,125 \text{ min/botella}$$

Tiempo de procesamiento de botellas

$$= \text{tiempo de extrusión} + \text{Tiempo de avería} \quad (8)$$

$$+ \text{Configuración y ajuste} + \text{tiempo de extracción}$$

Tiempo de procesamiento de botellas

$$= 4,125 \frac{\text{min}}{\text{botella}} + 0,5 \frac{\text{min}}{\text{botella}} + 1,10 \frac{\text{min}}{\text{botella}} + 1,15 \frac{\text{min}}{\text{botella}}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento de botellas} = 6,875 \frac{\text{min}}{\text{botella}}$$

$$\text{Botellas diarias procesadas} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo de procesamiento de botellas}} \quad (9)$$

$$\text{Botellas diarias procesadas} = \frac{450 \text{ min/dia}}{6,875 \text{ min/botella}} \approx 65,45 \frac{\text{botellas}}{\text{dia}}$$

Es necesario conocer la longitud que el filamento va a obtener luego del proceso de extrusión porque el punto de referencia del filamento del mercado es el peso y la longitud, el peso se descarta al ser un filamento hueco, por lo que se necesita obtener el valor de longitud de filamento como se muestra a continuación.

Longitud de filamento diario

$$= (\text{longitud de cinta} + \text{longitud de cinta} \quad (10)$$

$$* \text{alargamiento}) * \text{botellas diarias procesadas}$$

Longitud de filamento diario

$$= \left(4,5 \frac{m}{botella} + 4,5 \frac{m}{botella} * 23\% \right) * 65,45 \frac{botellas}{día}$$

$$Longitud de filamento diario = 362,29 \frac{m}{día}$$

$$Producción diaria = \frac{Longitud de filamento diario}{Longitud de filamento del mercado} \quad (11)$$

$$Producción diaria = \frac{362,29 \frac{m}{día}}{300 \frac{m}{unidad}} = 1,207 \frac{Unidades}{día}$$

Para el cálculo de la producción mensual se extrajo del calendario los días laborables y con una jornada laboral de 7,5 horas que se muestran en la tabla 31.

Tabla 33. Horas laborables por meses

Mes	Días laborables	Jornada de trabajo(horas)	Horas de trabajo
Enero	22	7,5	165
Febrero	19	7,5	142,5
Marzo	20	7,5	150
Abril	21	7,5	157,5
Mayo	21	7,5	157,5
Junio	20	7,5	150
Julio	23	7,5	172,5
Agosto	21	7,5	157,5
Septiembre	21	7,5	157,5
Octubre	22	7,5	165
Noviembre	18	7,5	135
Diciembre	20	7,5	150

Nota: Elaborado por el autor

Cálculo de la producción mensual de unidades de filamentos PET

$$Producción mensual_{Enero} = Producción diaria * dias laborables \quad (12)$$

$$Producción mensual_{Enero} = 1,207 \frac{Unidades}{día} * 22 \frac{dias}{mes} = 26,554 \frac{unidades}{mes}$$

Con lo anteriormente calculado se obtienen las unidades para los siguientes meses como se muestra en la tabla 32.

Tabla 34. Producción de filamentos mensual

Mes	Días hábiles	Producción mensual
Enero	22	26,554
Febrero	19	22,933
Marzo	20	24,14
Abril	21	25,347
Mayo	21	25,347
Junio	20	24,14
Julio	23	27,761
Agosto	21	25,347
Septiembre	21	25,347
Octubre	22	26,554
Noviembre	18	21,726
Diciembre	20	24,14

Nota: Elaborado por el autor

Tiempo de inactividad no planificada diaria (13)

= (Tiempo de avería) * botellas diarias procesadas

$$\text{Tiempo de inactividad no planificada diaria} = \left(0,5 \frac{\text{min}}{\text{botellas}}\right) * 65,45 \frac{\text{botellas}}{\text{día}}$$

$$\text{Tiempo de inactividad diaria} = 32,725 \frac{\text{min}}{\text{día}}$$

Tiempo de inactividad diaria planificada

= (Configuración y ajuste + tiempo de extracción) (14)

* botellas diarias procesadas

Tiempo de inactividad diaria planificada

$$= \left(1,10 \frac{\text{min}}{\text{botellas}} + 1,15 \frac{\text{min}}{\text{botellas}}\right) * 65,45 \frac{\text{botellas}}{\text{día}}$$

$$\text{Tiempo de inactividad diaria planificada} = 147,26 \frac{\text{min}}{\text{día}}$$

Con los valores de tiempo de inactividad diaria e inactividad diaria planificada, se obtienen los valores de cada mes de estos tiempos, en la tabla 33, se muestran los cálculos de inactividad planificada y no planificada de cada mes.

Tabla 35. Tiempos de inactividad no planificada y planificada mensual

Mes	Días laborables	inactividad no planificada mensual (min)	Inactividad planificada mensual (min)
Enero	22	719,95	3239,775
Febrero	19	621,775	2797,9875
Marzo	20	654,5	2945,25
Abril	21	687,225	3092,5125
Mayo	21	687,225	3092,5125
Junio	20	654,5	2945,25
Julio	23	752,675	3387,0375
Agosto	21	687,225	3092,5125
Septiembre	21	687,225	3092,5125
Octubre	22	719,95	3239,775
Noviembre	18	589,05	2650,725
Diciembre	20	654,5	2945,25

Nota: Elaborado por el autor

El valor de la disponibilidad total son las horas de jornada laboral al mes, en el caso de enero son los días laborables por las horas de la jornada laboral por 60 minutos.

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidad total}_{\text{enero}} &= \text{dias laborables}_{\text{enero}} * \text{jornada laboral} * \frac{60\text{min}}{h} \quad (15) \\ &= 22 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} * 7,5 \frac{h}{\text{día}} * 60 \frac{\text{min}}{h} \end{aligned}$$

$$\text{Disponibilidad total}_{\text{enero}} = 9900 \frac{\text{min}}{\text{mes}}$$

$$\text{Disponibilidad total}_{\text{enero}} = 9900 \frac{\text{min}}{\text{mes}}$$

En tabla 34, se muestra la disponibilidad de cada mes con respecto a los minutos.

Tabla 36. Disponibilidad total por mes

Mes	Disponibilidad total
Enero	9900
Febrero	8550
Marzo	9000
Abril	9450
Mayo	9450

Junio	9000
Julio	10350
Agosto	9450
Septiembre	9450
Octubre	9900
Noviembre	8100
Diciembre	9000

Nota: Elaborado por el autor

Se calcula el tiempo planificado de producción de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} & \text{Tiempo planificado de producción}_{\text{enero}} & (16) \\ & = \text{Disponibilidad total}_{\text{enero}} - \text{Tiempo de inactividad planificado}_{\text{enero}} \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo planificado de producción}_{\text{enero}} = 9900 \frac{\text{min}}{\text{mes}} - 3239,775 \frac{\text{min}}{\text{mes}}$$

$$\text{Tiempo planificado de producción}_{\text{enero}} = 6660,225 \frac{\text{min}}{\text{mes}}$$

En la tabla 35, se observan los valores del tiempo planeado de producción por cada mes en minutos.

Tabla 37 Tiempo planificado de producción por mes

Mes	Tiempo planificado de producción
Enero	6660,225
Febrero	5752,0125
Marzo	6054,75
Abril	6357,4875
Mayo	6357,4875
Junio	6054,75
Julio	6962,9625
Agosto	6357,4875
Septiembre	6357,4875
Octubre	6660,225
Noviembre	5449,275
Diciembre	6054,75

Nota: Elaborado por el autor

Para el siguiente paso se debe calcular el tiempo de operación con la siguiente fórmula.

Tiempo de operación

= *Tiempo planificado de producción* – *Tiempo de inactividad no planificado*

$$\textit{Tiempo de operación} = 6660,225 \frac{\textit{min}}{\textit{mes}} - 719,95 \frac{\textit{min}}{\textit{mes}}$$

$$\textit{Tiempo de operación} = 5940,275 \frac{\textit{min}}{\textit{mes}}$$

Tabla 38. Tiempo de operación al mes

Mes	Tiempo planificado de producción	Tiempo de inactividad no planificado	Tiempo de operación
Enero	6660,225	719,95	5940,275
Febrero	5752,0125	621,775	5130,2375
Marzo	6054,75	654,5	5400,25
Abril	6357,4875	687,225	5670,2625
Mayo	6357,4875	687,225	5670,2625
Junio	6054,75	654,5	5400,25
Julio	6962,9625	752,675	6210,2875
Agosto	6357,4875	687,225	5670,2625
Septiembre	6357,4875	687,225	5670,2625
Octubre	6660,225	719,95	5940,275
Noviembre	5449,275	589,05	4860,225
Diciembre	6054,75	654,5	5400,25

Nota: Elaborado por el autor

Para el cálculo de disponibilidad se necesitan los datos de tiempo de operación y tiempo planeado de producción, y utiliza la siguiente fórmula.

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{Tiempo de operación}}{\textit{Tiempo planeado de producción}} \times 100\%$$

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{5940,275 \frac{\textit{min}}{\textit{mes}}}{6660,226} \times 100\% = 89,19\%$$

Al ser del método inductivo donde de lo particular se generaliza, los valores de disponibilidad de los próximos meses se proyectan de la misma manera. Así como se muestra en la tabla 37.

Tabla 39 Disponibilidad por meses

Mes	Disponibilidad
Enero	89,19030513
Febrero	89,19030513
Marzo	89,19030513
Abril	89,19030513
Mayo	89,19030513
Junio	89,19030513
Julio	89,19030513
Agosto	89,19030513
Septiembre	89,19030513
Octubre	89,19030513
Noviembre	89,19030513
Diciembre	89,19030513

Nota: Elaborado por el autor

3.2.4.2. Rendimiento

La fórmula de rendimiento dentro del cálculo del OEE (Overall Equipment Effectiveness) evalúa la velocidad de producción en comparación con la velocidad ideal. Esta métrica asegura que el equipo esté funcionando a su máxima capacidad y es calculada de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{Rendimiento} &= \frac{\text{cantidad procesada} \times \text{tiempo de ciclo real}}{\text{tiempo disponible ideal}} \\
 & * \frac{\text{tiempo de ciclo ideal}}{\text{tiempo de ciclo real}}
 \end{aligned} \tag{17}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{cantidad procesada} \times \text{tiempo de ciclo ideal}}{\text{tiempo disponible ideal}}$$

$$\text{Tiempo de ciclo ideal} = \frac{\text{tiempo de operación}}{\text{cantidad procesada}} \tag{18}$$

$$\text{Tiempo de ciclo ideal} = \frac{5940,27 \text{min}}{26,554 \text{unidades}} = 223,70 \frac{\text{min}}{\text{unidades}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tiempo disponible ideal} & \\
 &= \text{disponibilidad total} \\
 &- \text{tiempo de inactividad no planificada}
 \end{aligned} \tag{19}$$

$$\text{Tiempo disponible ideal} = 9900 \frac{\text{min}}{\text{mes}} - 719,95 \frac{\text{min}}{\text{mes}} = 9180,05 \frac{\text{min}}{\text{mes}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{26,554 \frac{\text{unidades}}{\text{mes}} \times 223,70 \frac{\text{min}}{\text{unidades}}}{9180,05 \frac{\text{min}}{\text{mes}}}$$

$$\text{Rendimiento} = 64,70\%$$

3.2.4.3. Calidad

Para calcular la fórmula de calidad en la Eficacia General del Equipo (OEE) mide la proporción de productos buenos frente a los productos totales producidos durante un período de tiempo. Esta métrica es crucial para entender cuántos productos cumplen con los estándares de calidad establecidos. A continuación, se descompone la fórmula de calidad del OEE:

Utilizando nuevamente los parámetros de decisión de la calidad de filamentos y basados en el anexo L, donde se muestran los valores del diámetro del filamento con 4 observaciones distintas y cada una con 4 mediciones para tener mejor entendimiento de la calidad del producto.

1,73mm a 1,77mm = Excelente calidad

1,70mm a 1,73mm = Calidad aceptable

1,66mm a 1,70mm = Muy fino

1,77mm a 1,80mm = Muy grueso

Fuera del intervalo = Mala calidad

Se utilizó el programa SPSS para hacer una tabla de frecuencias con los 16 datos obtenidos de la ficha de recolección de datos BY. Se muestra en la tabla 38 la frecuencia en que los valores de calidad son excelentes, aceptables y con un diámetro menor al esperado.

Tabla 40 Calidad del filamento BY

		Calidad de filamento			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Muy fino	3	18,8	18,8	18,8
	Calidad aceptable	8	50,0	50,0	68,8
	Excelente calidad	5	31,3	31,3	100,0
	Total	16	100,0	100,0	

Nota: Elaborado por el autor

De la anterior tabla se calcula el valor de calidad del filamento utilizando la siguiente fórmula.

$$\begin{aligned}
 & \textit{Tasa de calidad del producto} \\
 & = \frac{\textit{Total de productos} - \textit{Productos defectuosos}}{\textit{Total de productos}} * 100\% \quad (20) \\
 & \textit{Tasa de calidad del producto} = \frac{16u - 3u}{16u} * 100\% = 81,25\%
 \end{aligned}$$

También se puede calcular los productos defectuosos de cada mes con la siguiente fórmula.

$$\begin{aligned}
 & \textit{Productos de calidad al mes} \\
 & = \textit{producción mensual} * \textit{tasa de calidad del producto} \quad (21) \\
 & \textit{Productos de calidad al mes} = 26,554 \frac{\textit{unidades}}{\textit{mes}} * 81,25\% \\
 & \textit{Productos de calidad al mes} = 21,57 \frac{\textit{unidades}}{\textit{mes}}
 \end{aligned}$$

Los productos de calidad al mes se muestran en la tabla 39.

Tabla 41 Productos de calidad al mes

Mes	Productos de calidad al mes
Enero	21,575125
Febrero	18,6330625
Marzo	19,61375
Abril	20,5944375
Mayo	20,5944375
Junio	19,61375
Julio	22,5558125
Agosto	20,5944375
Septiembre	20,5944375
Octubre	21,575125
Noviembre	17,652375
Diciembre	19,61375

Nota: Elaborado por el autor

3.2.4.4. Cálculo del OEE

Para el cálculo del OEE es el producto de los 3 factores calculados anteriormente.

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

$$OEE = 89,19\% \times 64,70\% \times 81,25\%$$

$$OEE = 46,89\%$$

3.2.5. Cálculo de productividad

Para el cálculo de la productividad existen diferentes maneras, en este estudio se utiliza la multiplicación de factores de eficiencia y eficacia.

El cálculo de la eficiencia es la relación entre los recursos utilizados y los resultados obtenidos. Se enfoca en cómo se utilizan los recursos para lograr esos resultados.

$$Eficiencia = \frac{Resultados\ obtenidos}{Recursos\ utilizados} \quad (22)$$

$$Eficiencia = \frac{Tiempo\ útil}{Tiempo\ total} = \frac{Tiempo\ Operativo}{Disponibilidad\ Total}$$

$$Eficiencia = \frac{5940.275min/mes}{9900min/mes} = 60\%$$

La eficacia se refiere al grado en el que se alcanzan los objetivos o resultados planificados. Para calcular la eficacia, se usa la siguiente fórmula:

$$Eficacia = \left(\frac{Resultado\ alcanzado}{Resultado\ previsto} \right) * 100 \quad (23)$$

$$Eficacia = \left(\frac{Productos\ de\ calidad\ reales}{Productos\ de\ calidad\ previsto} \right) * 100$$

$$Eficacia = \left(\frac{\sum Productos\ de\ calidad\ al\ mes}{\sum Productos\ de\ totales\ al\ mes} \right) * 100$$

$$Eficacia = \left(\frac{243,21 \frac{unidades}{año}}{299,336 \frac{unidades}{año}} \right) * 100 = 81,25\%$$

La productividad mide la relación con la que se utilizan los recursos para generar productos o servicios. Se puede calcular en diferentes niveles: individual, equipo o empresa. La fórmula general para calcular la productividad es:

$$Productividad = \frac{Producción\ total}{Insumos\ totales} \quad (24)$$

Productividad

$$= \frac{Producción\ anual * costo\ unitario}{Insumos(Mano\ de\ obra + materiales + servicios + mantenimiento)}$$

$$Productividad = \frac{299,336 \frac{unidades}{año} * \$24}{\left(\frac{\$460}{mes} + \frac{\$8}{mes} + \frac{\$40}{mes} + \frac{\$10}{mes}\right) \frac{12meses}{año}}$$

$$Productividad = \frac{\$7184,06}{\$5520}$$

$$Productividad = 1,1557$$

Interpretación del resultado obtenido:

- Si el resultado obtenido de Productividad es > 1 , entonces los inputs generados son mayores que sus outputs.
- Si el resultado obtenido de Productividad es $= 1$, entonces los inputs generados son iguales que sus outputs.
- Si el resultado obtenido de Productividad es < 1 , entonces los inputs generados son menores que sus outputs.

Dicho esto, en la propuesta, al ser el resultado superior a 1 la productividad es positiva, ya que el ingreso generado es mayor que su coste. Aunque el valor es levemente superior, existirá una utilidad.

3.2.6. Presupuesto

El desarrollo del presupuesto se basa en los componentes que conforman el proceso de producción de filamentos PET con base a los parámetros obtenidos en los resultados. En la tabla 40, se muestran los componentes con su respectivo costo unitario, costo total, y total de la inversión.

Tabla 42 Presupuesto de la propuesta

Rubro	Descripción	Cantidad	Costos unitarios	Costo total	
HUMANO	Capacitación	1	\$25,00	\$25,00	
	Operario	1	\$460,00	\$460,00	
TECNOLÓGICO	Componentes de extrusión				
	Termostato W1209	1	\$8,00	\$ 8,00	
	Termistor NTC 100k y cartucho calefactor 12V	1	\$14,30	\$14,30	
	Diodo 1N5408	1	\$0,30	\$ 0,30	
	Bloque calefactor	1	\$4,50	\$ 4,50	
	Boquilla	1	\$2,70	\$ 2,70	
	Componentes de pull				
	Motor Stepper Nema 17	1	\$16,00	\$16,00	
	Driver para motor Stepper TB6600	1	\$25,00	\$25,00	
	Arduino nano	1	\$10,50	\$10,50	
	Pantalla LCD 2x16	1	\$3,00	\$ 3,00	
	Modulo I2C	1	\$2,50	\$ 2,50	
	Pulsadores	3	\$0,50	\$ 1,50	
	Alimentación 12V 20 ^a	1	\$18,00	\$18,00	
	Cables, estaño, cinta, tubo termoretráctil	1	\$15,00	\$15,00	
	MECÁNICO	Madera	1	\$15,00	\$15,00
		Arandelas y tornillos	1	\$4,00	\$ 4,00
		Rodamientos	6	\$2,50	\$15,00
		Varilla roscada 8mm	1	\$4,50	\$ 4,50
		Varilla roscada 5mm	1	\$2,80	\$ 2,80
EQUIPOS		Mascarillas	1	\$3,00	\$ 3,00
	Guantes anticorte	1	\$3,00	\$ 3,00	
	Pinza	1	\$4,00	\$ 4,00	
	Tijera	1	\$2,00	\$ 2,00	
	Cuchillas de estilete	1	\$3,30	\$ 3,30	
OTROS	Electricidad, Agua		\$40,00	\$40,00	
	Mantenimiento		\$20,00	\$20,00	
	Logística		\$15,00	\$15,00	
TOTAL				\$737,90	

Nota: Elaborado por el autor

El estado de costo de producción es un informe contable que muestra detalladamente todos los costos incurridos durante el proceso de producción de una empresa en un período determinado. Este estado incluye tres elementos principales: materia prima, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación. En la tabla 41, se muestra el estado de costo de producción del primer año de producción.

Tabla 43 Estado de costo de producción

Estado de Costo de Producción		
Por el periodo comprendido desde el 1 de enero al 31 de diciembre		
Materia Prima Directa	\$	-
+ Mano de Obra Directa		\$5.520,00
+ Costos Indirectos de Fabricación		\$ 720,00
Materia Prima Indirecta	\$	-
Mano de Obra Indirecta		\$ 240,00
Servicios Básicos		\$ 480,00
= Costo de Producción		\$6.240,00
Inventario Inicial de Producto Terminado	\$	-
= Producción Disponible		\$6.240,00
- Inventario Final de Producto Terminado	\$	-
= Costo de Ventas		\$6.240,00

Nota: Elaborado por el autor

El estado de resultados, también conocido como estado de ganancias y pérdidas, es un informe financiero que presenta los ingresos, gastos y el beneficio neto de una empresa durante un período contable específico. En la tabla 42, se muestra el estado de resultados del primer año de producción.

Tabla 44 Estado de resultados

Estado de resultados		
Del 1 de enero al 31 de diciembre		
Ventas	\$7.184,06	
- Devoluciones en Ventas	\$ 449,00	
Ventas Netas		\$6.735,06
- Costo de Ventas		\$6.240,00
= Utilidad (perdida) Bruta		\$ 495,06
Gastos de Venta	\$	-
Gastos de Administración	\$	-
- Total, de Gastos Generales		\$ -
- Otros Gastos		\$180,00

Resultado Integral de Financiamiento	\$ -
Utilidad (perdida) antes del Impuesto a la Renta	\$ 315,06
- Impuesto a la Renta 22%	\$ 69,31
Utilidad (pérdida) Neta	\$ 245,75

Nota: Elaborado por el autor

El estado de resultados proyectados a 4 años es una herramienta financiera que anticipa los ingresos, gastos y beneficios de una empresa para los próximos cuatro años. Este tipo de proyección ayuda a planificar y tomar decisiones estratégicas a largo plazo. En la tabla 43, se muestra el Estado de resultados proyectados en los próximos 4 años

Tabla 45 Estado de resultados proyectados

Estado de Resultados Proyectados				
Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Ventas	\$7.184,06	\$7.208,06	\$7.232,06	\$7.256,06
- Devoluciones en Ventas	\$ 449,00	\$ 425,00	\$ 425,00	\$ 425,00
Ventas Netas	\$6.735,06	\$6.783,06	\$6.807,06	\$6.831,06
- Costo de Ventas	\$6.240,00	\$6.240,00	\$6.240,00	\$6.240,00
= Utilidad (pérdida) Bruta	\$ 495,06	\$ 543,06	\$ 567,06	\$ 591,06
Gastos de Venta	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos de Administración	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Total de Gastos Generales	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Otros Gastos	\$ 180,00	\$ 180,00	\$ 180,00	\$ 180,00
Utilidad (pérdida) antes del Impuesto a la Renta	\$ 315,06	\$ 363,06	\$ 387,06	\$ 411,06
- Impuesto a la Renta 22%	\$ 69,31	\$ 79,87	\$ 85,15	\$ 90,43
Utilidad (pérdida) Neta	\$ 245,75	\$ 283,19	\$ 301,91	\$ 320,63

Nota: Elaborado por el autor

Tasa mínima aceptable de rendimiento

La Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) es el mínimo retorno que un inversionista o gerente de proyecto considera necesario para aceptar una inversión o iniciar un proyecto. Representa la rentabilidad mínima requerida para justificar la inversión en lugar de optar por alternativas más seguras. La TMAR se utiliza en la evaluación de proyectos y se determina considerando varios factores:

- La tasa de inflación esperada se añade para mantener el poder adquisitivo del capital invertido.
- Se incluye una prima de riesgo que compensa el riesgo específico del proyecto o inversión.

$$if = \text{tasa de inflación EEUU} + \text{tasa de inflación Ecuador} \quad (25)$$

$$if = 7,5\% + 3,10\% = 10,60\%$$

$$R = \text{Porcentaje de Beneficio por Riesgo} = 10\%$$

$$TMAR = R + if + (R * if) \quad (26)$$

$$TMAR = 10\% + 10,60\% + (10\% * 10,60\%)$$

$$TMAR = 21,66\%$$

En la tabla 44, se muestra el cálculo del TMARX

Tabla 46 TMARX

Entidad	Capital	Porcentaje de aportación	Rendimiento pedido	TMAR Ponderado
Accionista A	250,0	44,44%	21,66%	9,63%
Accionista B	312,5	55,56%	21,66%	12,03%
Inversión Inicial Total	562,5	1		21,66%
			Tasa activa empresarial	9,89%
			TMARX	31,55%

Nota: Elaborado por el autor

Valor actual neto

El Valor Actual Neto (VAN) es una medida financiera utilizada para evaluar la rentabilidad de una inversión o proyecto. Se calcula descontando todos los flujos de caja futuros esperados de una inversión a su valor presente y restando la inversión inicial. El objetivo es determinar si los ingresos futuros de un proyecto superan los costos iniciales, considerando el valor del dinero en el tiempo.

Tabla 47 Inversión inicial y flujo de efectivo

Io	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
-562,5	\$ 245,75	\$ 283,19	\$ 301,91	\$ 320,63

Nota: Elaborado por el autor

$$VAN = -I_o + \sum \frac{FN_n}{(1 + TMAR)^n} \quad (27)$$

$$VAN = -I_o + \frac{FN_1}{(1 + TMAR)^1} + \frac{FN_2}{(1 + TMAR)^2} + \frac{FN_3}{(1 + TMAR)^3} + \frac{FN_4}{(1 + TMAR)^4}$$

$$VAN = \$ - 562,5 + \frac{\$245,75}{(1 + 0,2166)^1} + \frac{\$283,19}{(1 + 0,2166)^2} + \frac{301,91}{(1 + 0,2166)^3} + \frac{320,63}{(1 + 0,2166)^4}$$

$$VAN = \$588,97$$

Tasa interna de retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador financiero que mide la rentabilidad de una inversión o proyecto. Representa la tasa de descuento que hace que el valor actual neto (VAN) de los flujos de caja esperados sea igual a cero. En otras palabras, es la tasa de interés que iguala el valor presente de los ingresos futuros esperados con el costo inicial de la inversión.

$$TIR = \$ - 562,5 + \frac{\$245,75}{(1 + i)^1} + \frac{\$283,19}{(1 + i)^2} + \frac{301,91}{(1 + i)^3} + \frac{320,63}{(1 + i)^4} = 0$$

$$TIR = i = 34\%$$

Periodo de recuperación de la inversión

El Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), también conocido como payback, es un indicador financiero que mide el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial realizada en un proyecto a través de los flujos netos de efectivo generados por este. En otras palabras, el PRI indica cuánto tiempo se tarda en recuperar el dinero invertido. En la tabla 46 se muestran los flujos de fondo y el acumulado para visualizar el año de recuperación de la inversión.

Tabla 48 Periodo de recuperación de la inversión

	Io	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Flujo de fondo	\$-562,50	\$ 245,75	\$ 283,19	\$ 301,91	\$ 320,63
Flujo de fondo acumulado	\$-562,50	\$ 316,75	\$ -33,57	\$ 268,34	\$ 588,97

Nota: Elaborado por el autor

$$PRI = \text{Periodo} + \left(\frac{-VP}{PP} \right) \quad (28)$$

$$PRI = 2 + \left(\frac{\$ - 33,57}{\$301,91} \right) = 2,1111 \text{ años}$$

$$PRI_{\text{meses}} = (2,1111 - 2) * 12 = 1,334 \text{ meses}$$

$$PRI_{\text{días}} = (1,334 - 1) * 30 = 10,025 \text{ días}$$

El periodo de retorno de la inversión será de 2 años 1 mes y 10 días.

Relación beneficio costo

La Relación Beneficio-Costo (B/C) es un indicador financiero que mide la relación entre los beneficios obtenidos de un proyecto y los costos asociados a su ejecución. Se utiliza para evaluar la viabilidad y eficiencia de un proyecto, permitiendo comparar si los beneficios superan los costos involucrados.

$$RBC = \frac{\sum \frac{FN_n}{(1 + TMAR)^n}}{I_o} \quad (29)$$

$$RBC = \frac{\frac{FN_1}{(1 + TMAR)^1} + \frac{FN_2}{(1 + TMAR)^2} + \frac{FN_3}{(1 + TMAR)^3} + \frac{FN_4}{(1 + TMAR)^4}}{I_o}$$

$$RBC = \frac{\frac{\$245,75}{(1 + 0,2166)^1} + \frac{\$283,19}{(1 + 0,2166)^2} + \frac{301,91}{(1 + 0,2166)^3} + \frac{320,63}{(1 + 0,2166)^4}}{\$562,50}$$

$$RBC = \$1,26$$

Por cada dólar invertido se regresará al inversionista al final de los 4 años un 26% más de lo invertido.

3.2.7. Parámetros de impresión

El filamento de tereftalato de polietileno (PET) es un material popular en la impresión 3D debido a su durabilidad, resistencia al agua y facilidad de reciclaje. Para obtener resultados óptimos al imprimir con PET, es crucial ajustar correctamente varios parámetros en el software CURA. La tabla 47, a continuación, detalla los ajustes recomendados para parámetros clave como la temperatura del extrusor, la velocidad de impresión, la retracción, y otros factores que impactan en la calidad final de la impresión 3D con filamento PET.

Tabla 49 Parámetros de impresión








Altura de capa	0,2 mm
Ancho de línea	0,4 mm
Recuentos de líneas de pared	4
Densidad de relleno	20%
Patrón de relleno	Cubico (Recomendado)
Temperatura de impresión	260° C
Temperatura de placa de impresión	80° C
Flujo	150%
Velocidad de impresión	50 mm/s
Retracción	Activada
Distancia de retracción	3,5 mm
Refrigeración	Activada
Velocidad normal de ventilador	30 %

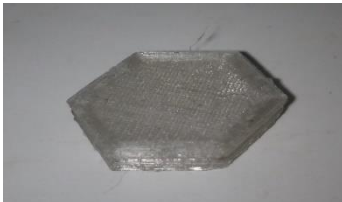
Nota: Elaborado por el autor

3.2.8. Pruebas de impresión

Las pruebas de impresión con filamentos de PET reciclado implican una serie de desafíos y oportunidades. Es fundamental evaluar la calidad del filamento en términos de su consistencia, flexibilidad y resistencia. Las pruebas suelen incluir la impresión de objetos estándar para evaluar el rendimiento del filamento reciclado. Estas pruebas no solo validan la viabilidad técnica del filamento reciclado, sino que también pueden revelar mejoras en su proceso de fabricación. A continuación, en la tabla 48, se muestran las pruebas de impresión.

Tabla 50 Pruebas de impresión

N° de Prueba	Observación	Evidencia
1	La impresión presentó atascos, lo que provocó que parte de la impresión no se concretara, por otro lado, la cama de impresión a 75°C hizo que la impresión no se adhiriera por completo.	
2	La impresión sufrió obstrucciones lo que provocó que la impresión no saliera uniforme, además, se presentaron burbujeos debido a la humedad.	
3	La impresión se adhirió a la cama caliente de impresión, aunque presentó nuevamente atascos que provocaron que no terminara la impresión.	
4	Al igual que la prueba anterior, la impresión presentó atascos que no permitieron que siguiese el proceso de impresión, el filamento se mantuvo en la boquilla por enfriamiento.	
5	Luego de las modificaciones del sistema bowden, la impresión se concretó, la impresión presentó burbujeos por humedad, la impresión presenta impurezas.	
6	La impresión se mantuvo, aunque a inicios se presentaron interrupciones de impresión debido a la falta de temperatura y a la retracción de la impresión.	
7	Se disminuyó la velocidad del proceso de impresión a un 50%, por retracción existieron atascos en múltiples capas de impresión.	

8	La impresión presentó fallas en el proceso de adherencia en las primeras capas, lo que provocó que la unión se separe al momento de remoción.	
---	---	---

Nota: Elaborado por el autor

Imprimir PET casero a partir de botellas de plástico en una impresora como la Ender 3 V1 es complicado debido a varios factores relacionados con las propiedades del material y las limitaciones de la impresora:

- **Temperatura de Impresión Justa:** La impresora Ender 3 V1 tiene un límite de temperatura de 260°C para el hotend, que es justo el mínimo requerido para imprimir PET de botellas recicladas. Este margen tan estrecho puede resultar insuficiente para alcanzar una fusión óptima y estable del material, especialmente porque el PET reciclado puede tener variaciones en su punto de fusión debido a la degradación del material o a la presencia de impurezas.

- **Secado del Material:** El PET es altamente higroscópico, lo que significa que absorbe humedad del aire. La presencia de humedad en el filamento provoca problemas durante la impresión, como burbujas y baja calidad en las capas impresas. El PET reciclado de botellas debe ser secado adecuadamente antes de su uso, lo cual puede ser difícil de gestionar sin equipos especializados.

- **Composición del Material:** El PET reciclado puede contener aditivos y residuos de otros materiales que afectan su comportamiento durante la impresión. La variabilidad en la pureza y composición del PET de botellas recicladas puede llevar a inconsistencias en la calidad de las impresiones y a posibles interrupciones en el hotend.

- **Problemas Mecánicos:** La Ender 3 V1, aunque es una impresora popular y accesible, no está específicamente diseñada para manejar las demandas de materiales difíciles como el PET reciclado. Puede que se necesiten modificaciones adicionales, como un hotend todo metálico o un sistema de extrusión mejorado, para imprimir de manera más efectiva este tipo de material.

En resumen, aunque es posible imprimir PET reciclado con una Ender 3 V1, la combinación de la temperatura de impresión ajustada al límite, los desafíos de la humedad, y la necesidad de una composición homogénea del material hacen que el proceso sea complicado y con resultados variables.

MARCO DE DISCUSIÓN

El análisis bibliométrico realizado demuestra la importancia del reciclaje y procesamiento del PET en la fabricación sostenible. La aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) permitió identificar y evaluar las herramientas y metodologías más eficientes para el procesamiento del PET. Este análisis, basado en 25 artículos de la base de datos de Dimensions, respalda la viabilidad y sostenibilidad de la propuesta, subrayando que el reciclaje de PET no solo es viable sino también crucial para la sostenibilidad ambiental y económica.

El enfoque cuantitativo que utilizó un diseño experimental en combinación con el diseño factorial y la técnica de observación directa proporcionó un marco metodológico riguroso. La identificación y análisis de artículos científicos relevantes, junto con la utilización de fichas de recolección de datos, aseguraron la validez y confiabilidad de los resultados. Este método permitió una documentación detallada de cada fase del estudio, lo que facilitó un análisis exhaustivo y preciso de los datos recolectados.

La validación de los instrumentos mediante el uso del software SPSS, incluyendo el cálculo del coeficiente de correlación intraclassa con un valor de 0,985 lo que prueba su confiabilidad, la prueba de normalidad de Shapiro Wilk con los valores de p de 0,174 y 0,141, que al ser mayores a 0,05 se comprueba la distribución normal, y la correlación de Pearson con un valor de 0,984 que corresponde a una correlación altamente positiva, estos valores fortalecieron la credibilidad de la investigación. Estas pruebas estadísticas aseguraron que los instrumentos de recopilación de datos utilizados fueran confiables y válidos, proporcionando una base sólida para las conclusiones del estudio.

Los estudios de caso han demostrado que el PET es un material altamente reciclable y versátil, con aplicaciones que varían desde envases hasta la fabricación de filamentos para impresoras 3D. Las propiedades del PET, como su alta resistencia al impacto y su facilidad de procesamiento, lo convierten en un material ideal para diversos usos industriales. Este hallazgo subraya la importancia del reciclaje de PET para el desarrollo de productos sostenibles y eficientes.

El desarrollo de un flujograma detallado que describe los pasos del proceso de producción de filamento PET, desde la recolección y procesamiento de materias primas hasta la extrusión y bobinado del filamento, proporciona una guía educativa valiosa. Este flujograma facilita la comprensión de cada etapa del proceso productivo, beneficiando a

los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería al ofrecer una visión clara y estructurada del proceso de producción.

Los resultados indican que, con un adecuado mantenimiento y optimización de las variables del proceso, es posible alcanzar altos niveles de eficiencia y productividad. Esto sugiere que la implementación de buenas prácticas de mantenimiento y la monitorización constante de las variables de proceso son esenciales para maximizar la eficiencia y productividad en la producción de filamentos PET.

En las pruebas de impresión, se utilizó una impresora Ender 3 Versión 1 donde se tuvieron que hacer modificaciones en el hardware, como lo es en la extrusión de la impresora con el tubo de teflón de mayor resistencia a altas temperaturas, y a su vez, en el sistema tipo Bowden, el cual, se aumentó en el torque debido a que el filamento con su estructura tubular sufría de aplastamiento al momento de ser dirigido por el sistema, lo que ocasionaba atascos, con el aumento de presión, el flujo se mantuvo constante lo que permitió una mejor impresión del filamento reciclado. Los parámetros de impresión se muestran en el Anexo P.

Este trabajo de integración curricular, que se centra en la utilización de botellas recicladas PET como materia prima para la fabricación de filamentos para impresoras 3D, representa un aporte significativo al desarrollo de futuros proyectos en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería. La investigación no solo promueve la sostenibilidad y el reciclaje de materiales, sino que también fomenta la innovación en la creación de nuevos materiales para la impresión 3D, un campo con amplio potencial en la ingeniería moderna. Al integrar conceptos de ciencia y tecnología con prácticas ambientales responsables, este proyecto establece una base sólida para el desarrollo de iniciativas que no solo beneficien a la comunidad académica, sino que también tengan un impacto positivo en la industria y la sociedad en general.

CONCLUSIONES

1. La propuesta de producción de filamentos PET se fundamenta en un análisis bibliométrico, demostrando la relevancia del reciclaje y procesamiento de PET en la fabricación sostenible. Se utilizó el proceso de jerarquía analítica (AHP) para identificar y evaluar las herramientas y metodologías óptimas para el procesamiento eficiente de PET
2. La propuesta se basa en un enfoque cuantitativo utilizando un diseño experimental la técnica de observación directa. Se estableció un procedimiento metodológico riguroso mediante la identificación y análisis de artículos científicos relevantes. Además, se utilizaron fichas de recolección de datos para documentar detalladamente cada fase del estudio, asegurando la validez por expertos y confiabilidad de los resultados de un 0.985, indicando un alto grado de concordancia.
3. La aplicación de herramientas metodológicas, como la validación de instrumentos, se utilizó para medir y asegurar la credibilidad en la investigación, se llevó a cabo un proceso de validación mediante el uso del software SPSS, que consistía en el cálculo del coeficiente de correlación intraclass, la prueba de normalidad de Shapiro Wilk y correlación de Pearson, los cuales permitieron validar la técnica que usa el instrumento de recopilación de datos.
 - La investigación de casos de estudio ha permitido identificar que el PET es un material altamente reciclable y versátil, con aplicaciones que van desde envases hasta la fabricación de filamentos para impresión 3D. Sus propiedades, como la alta resistencia al impacto y la facilidad de procesamiento, lo hacen ideal para múltiples usos industriales.
 - Se ha desarrollado un flujograma detallado que describe los pasos del proceso de producción de filamento PET, desde la recolección y procesamiento de materias primas hasta la extrusión del filamento. Este flujograma sirve como guía educativa para los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, facilitando la comprensión de cada etapa del proceso productivo.

Los resultados indican que, la efectividad establecida por el estudio OEE es de un 46,89% lo que indica que, la eficiencia del proceso está por debajo del nivel óptimo, por lo que, es esencial enfocarse en mejorar el rendimiento, ya que tiene el impacto más significativo en la baja puntuación del OEE. En la productividad se obtuvo un valor de 1,1557, lo que significa que la propuesta es productiva.

RECOMENDACIONES

- Basado en el análisis bibliométrico y el uso del proceso de jerarquía analítica (AHP), se recomienda establecer una cadena de reciclaje eficiente que maximice el uso de PET reciclado. Invertir en tecnologías innovadoras que permitan un procesamiento eficiente y sostenible del PET. Además, mantenerse actualizado con las últimas investigaciones y estudios para asegurar que las prácticas de procesamiento de PET sigan siendo óptimas y sostenibles.
- Desarrollar guías y flujogramas detallados para cada etapa del proceso de producción de filamentos PET. Estos materiales deben ser utilizados en el currículum de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería para que los estudiantes comprendan y apliquen los procedimientos de manera práctica. Además, implementar talleres y laboratorios donde los estudiantes puedan observar y participar directamente en el proceso de producción, utilizando fichas de recolección de datos para documentar sus observaciones y resultados.
- La razón del por qué no se tomaron mayores medidas de cintas es porque con mayor ancho de filamento, existen obstrucciones en la boquilla, al tener las velocidades relativamente altas, no se pueden conseguir buenos resultados por las interrupciones que causan tener las cintas anchas.
- Realizar mantenimientos regulares y optimización de las variables del proceso para alcanzar y mantener altos niveles de eficiencia y productividad. Esto incluye la implementación de un sistema de monitoreo constante de las operaciones para identificar y corregir rápidamente cualquier desviación de los parámetros óptimos.
- En el proceso de impresión, se sugiere utilizar un extrusor all-metal, debido al desgaste que puede ocasionar las altas temperaturas al tubo de teflón de las impresoras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul Ghaffar, A. R., Melethil, A., & Yusuf Adhami, A. (2023). A bibliometric analysis of inverse optimization. *Journal of King Saud University - Science*, 35(7). <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102825>
- Abolghasem, S., & Mancilla Cubides, N. (2022). Optimization of machining parameters for product quality and productivity in turning process of aluminum. *Ingeniería y Universidad*, 26. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iedad26.ompp>
- Aldea Molina, A. L. (2021). Influencia del rediseño de los procesos productivos de una empresa de envolturas flexibles basado en la mejora continua. *Industrial Data*, 24(1). <https://doi.org/10.15381/idata.v24i1.19616>
- Alía, C., Ocaña, R., Caja, J., Maresca, P., Moreno-Díaz, C., & Narbón, J. J. (2019). Use of open manufacturing laboratories (Fab Labs) as a new trend in engineering education. *Procedia Manufacturing*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.018>
- Altıparmak, S. C., Yardley, V. A., Shi, Z., & Lin, J. (2022). Extrusion-based additive manufacturing technologies: State of the art and future perspectives. En *Journal of Manufacturing Processes* (Vol. 83). <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.09.032>
- Álvarez López, D., & García García, M. (2022). Analysis of the Impact of the Coke Manufacturing Process on the Service Life of Siliceous Refractory. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/app122413015>
- Alvarez-Vega, C., Streitwieser, D. A., Álvarez-Barreto, J., & Leon-Reyes, A. (2022). Characterization of low density polyethylene greenhouse films during the composting of rose residues. *SN Applied Sciences*, 4(10). <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05155-0>
- Amigo, F. J., Urbikain, G., de Lacalle, L. N. L., Fernández-Lucio, P., Pereira, O., & Fernández-Valdivielso, A. (2023). On the effects of cutting-edge angle on high-feed turning of Inconel 718[©] superalloy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 125(9–10). <https://doi.org/10.1007/s00170-023-10974-5>
- Andrade, C. (2016). Análisis del Impuesto Redimible a las Botellas Plásticas No Retornables en el Ecuador. En *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Facultad de Jurisprudencia y Ciencias Solciales y Políticas*.
- Araque González, G., Suárez Hernández, A., Gómez Vásquez, M., Vélez Uribe, J., & Bernal Avellaneda, A. (2022). Sustainable Manufacturing in the Fourth Industrial Revolution: A Big Data Application Proposal in the Textile Industry. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 15(4). <https://doi.org/10.3926/jiem.3922>

- Babañoli, J. J., Fernández, P., Martínez, B., Torales, R., & Franca, V. V. (2023). Utilización de herramientas técnicas de análisis funcional para la obtención de postes a partir de PET reciclado. *Anais do XII SIMPROD*. <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/18429>
- Balarezo, A., & Reaño, S. (2019). Biodegradación de Tereftalato de Polietileno mediante la aplicación de *Fusarium culmorum*. En Universidad César Vallejo.
- Bravo Marco, V. C. (2022). Statistical Analysis of Manufacturing, Trade and Service in the Textile Industry in Ecuador, 2000-2020. *Open Journal of Social Sciences*, 10(13). <https://doi.org/10.4236/jss.2022.1013020>
- Buch, R., Marseille, A., Williams, M., Aggarwal, R., & Sharma, A. (2021). From waste pickers to producers: An inclusive circular economy solution through development of cooperatives in waste management. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13168925>
- Canahua Apaza, N. M. (2021). Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. *Industrial Data*, 24(1). <https://doi.org/10.15381/idata.v24i1.18402>
- Caya Pampa, M. G., & Vásquez Lume, M. M. (2022). Cultura y obligaciones tributarias, en contribuyentes de renta de primera categoría, en los Condominios Parques del Agustino. *Revista Hechos contables*, 2(1). <https://doi.org/10.52936/rhc.v2i1.95>
- Cedillo Alvarado, N., & Echeverría Maggi, E. (2022). Ladrillo prefabricado con plástico y vidrio reciclado apto para la construcción de viviendas económicas y sociales = Prefabricated brick with plastic and recycled glass suitable for the construction of affordable and social housing. *Anales de Edificación*, 7(2). <https://doi.org/10.20868/ade.2021.4896>
- Chacón, E., Cruz Salazar, L. A., Cardillo, J., & Paredes Astudillo, Y. A. (2021). A control architecture for continuous production processes based on industry 4.0: water supply systems application. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(7). <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01790-3>
- Chaka, K. T., Ahmed, F. E., Zegeye, L. H., & Worku, B. G. (2023). Compressive Strength of Floor Tile Composites from Recycled PET Reinforced with Natural Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2146249>
- Coral, A., & Izquierdo, D. (2017). Extrusora de filamentos para impresión 3D con reciclado de botellas PET-G para prácticas de prototipado en laboratorios Aunar. Corporación Universitaria Autónoma de Nariño.
- Corral Santos, S. E., & Barcia Mero, R. A. (2022). Caracterización de un compuesto de polietileno de baja densidad reforzado con fibra de banano para su uso en

- extrusión de película soplada. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56638>
- Cywar, R. M., Rorrer, N. A., Hoyt, C. B., Beckham, G. T., & Chen, E. Y. X. (2022). Bio-based polymers with performance-advantaged properties. En *Nature Reviews Materials* (Vol. 7, Número 2). <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00363-3>
- de Argandoña, E. S., Zabala, A., Galdos, L., & Mendiguren, J. (2020). The effect of material surface roughness in aluminum forming. *Procedia Manufacturing*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.182>
- de los Mozos, E. Á., & López, N. G. (2020). Short-term logistics management at a multinational corporation. *Procedia Manufacturing*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.236>
- de Oliveira, M., de Jesus, M. C., Nakazato, A. Z., Kondo, M. Y., & de Oliveira Hein, L. R. (2022). Instrumented open-source filament extruder for research and education. *HardwareX*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00362>
- Del Cid, A., Méndez, R., & Sandoval, F. (2019). Investigación fundamentos y metodología Segunda edición. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9).
- Escudero-Villa, P., Fonseca-Gonzales, P., & Núñez-Sánchez, J. (2023). Noise Isolation System for Indoor Industrial Ventilation. *Sustainability (Switzerland)*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/su15119083>
- Fernández, Sheila. (2020). Diseño de experimentos: Diseño factorial. Upc.
- Franco López, J. A., Uribe Gómez, J. A., & Agudelo Vallejo, S. (2021). Factores clave en la evaluación de la productividad: estudio de caso. *Revista CEA*, 7(15). <https://doi.org/10.22430/24223182.1800>
- Fuentes, F. (2018). Productividad. *Observatorio Económico*, 129. <https://doi.org/10.11565/oe.vi129.36>
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F., & Roubelat, F. (2000). La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. Cuadernos de LIP, número 5.
- Guerra Vaca, L. O. (2021). Diseño y construcción de un prototipo de procesadora de botellas plásticas PET recicladas para la obtención de fibra de poliéster. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14661>
- Hadi, M., Martel, C., Huayta, F., Rojas, R., & Arias, J. (2023). Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis. En *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis*. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>

- Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives presents in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. En *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 344). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>
- Han, J., Kang, H. J., Kim, M., & Kwon, G. H. (2020). Mapping the intellectual structure of research on surgery with mixed reality: Bibliometric network analysis (2000–2019). En *Journal of Biomedical Informatics* (Vol. 109). <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103516>
- Hernández Durán, H. J. (2021). Prototipo de muro ecológico no estructural elaborado con productos plásticos tereftalato de polietileno (PET). *Revista de Investigación*, 11. <https://doi.org/10.5377/revunivo.v0i11.11334>
- Hernández Morelos, L. E., Diaz Ceballos, A. A., Aguilar Cristiani, O. A., Uribe Macedo, R. S., & Medina Aguilar, A. (2023). Propuesta de Proceso de Producción Sostenible de Fibras Textiles para Vestiduras a Base de PET. *Ibero Puebla* Otoño 2023, 24. <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/5916>
- Hernández, R. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. En McGRAW-HILL Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Herrera Vidal, G., & Coronado Hernández, J. R. (2021). Complexity in manufacturing systems: a literature review. *Production Engineering*, 15(3–4). <https://doi.org/10.1007/s11740-020-01013-3>
- Holguín Chau, J. S., & Montes Torres, Y. N. (2024). Producción sostenible de filamento PET con botellas reciclables en la Universidad de América para impresoras 3D [Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/9416>
- Jaraba, J. G. (2017). Physical Characterization of Urban Solid Waste and the Economic Potential of Recoverable Materials at “Loma de los Cocos” Landfill in Turbaco - Colombia. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, V(IX). <https://doi.org/10.22214/ijraset.2017.9172>
- Lins, P. S., Kiperstok, A., Cunha, R. D. A., Rapôso, Á. L. Q. R. E. S., Merino, E. A. D., & César, S. F. (2021). (Re)layout as a strategy for implementing cleaner production: Proposal for a furniture industry company. *Sustainability* (Switzerland), 13(23). <https://doi.org/10.3390/su132313109>
- López Flores, L. H., Garcés Chávez, A., López García, C., & Valverde Cedillo, L. M. (2023). Rediseño de una maquina automatizada, extrusora de plástico fundido, utilizando botellas PET para la fabricación de filamentos para impresoras 3D. *Científica*, 27(1). <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v27n1a09>

- Lozano, A. B., Álvarez, S. H., Isaza, C. V., & Montealegre-Rubio, W. (2022). Analysis and Advances in Additive Manufacturing as a New Technology to Make Polymer Injection Molds for World-Class Production Systems. En *Polymers* (Vol. 14, Número 9). <https://doi.org/10.3390/polym14091646>
- Mares Castro, A. (2023). Decision-making process for gluing on footwear parts using AHP and statistics. *Ingeniería Industrial*, 44. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n44.6130>
- Medina Fernández de Soto, J. E. (2010). Modelo integral de productividad, aspectos importantes para su implementación. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 69. <https://doi.org/10.21158/01208160.n69.2010.519>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. En *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Mellado Silva, R., Cubillos, C., Cabrera Paniagua, D., & Urra, E. (2022). Flow-Shop Scheduling Problem Applied to the Planning of Repair and Maintenance of Electromedical Equipment in the Hospital Industry. *Processes*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/pr10122679>
- Mena Ledezma, J., & Posada Correa, J. C. (2023). Definition and evaluation of good manufacturing practices for plastic injection molding. *Energy Efficiency*, 16(4). <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10103-x>
- Merchán-Sanmartin, B., Almeida, P. N., Brocel, M., Pinto, B. R., Córdova, K., Mullo, A., Carrión-Mero, P., & Berrezueta, E. (2021). PROPOSAL for the MANAGEMENT of SOLID WASTE GENERATED in A UNIVERSITY CAMPUS: A CASE STUDY. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 253. <https://doi.org/10.2495/SC210481>
- Meza de Luna, A., García Reyes, E., González Herrada, R., Sierra Ortiz, R., Chávez Valdivia, F., & Reyes Cortes, R. (2022). Diseño y construcción de extrusora de PET reciclado. *Conciencia Tecnológica*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94472192003>
- Mirón, V., Ferrándiz, S., Juárez, D., & Mengual, A. (2017). Manufacturing and characterization of 3D printer filament using tailoring materials. *Procedia Manufacturing*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.151>
- Montoya Reyes, M., González Angeles, A., Mendoza Muñoz, I., Gil Samaniego Ramos, M., & Ling López, J. (2020). Method engineering to increase labor productivity and eliminate downtime. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(2). <https://doi.org/10.3926/jiem.3047>

- Mukherjee, D., Lim, W. M., Kumar, S., & Donthu, N. (2022). Guidelines for advancing theory and practice through bibliometric research. *Journal of Business Research*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.04.042>
- Naranjo Vargas, E. M., Moyano Arévalo, J. R., & Santillán Mariño, C. J. (2021). Diseño y construcción de un prototipo de máquina recicladora de botellas plásticas PET. *ConcienciaDigital*, 4(1.2). <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1585>
- Ormaza Andrade, J. E., Neira Neira, M. L., Giler Escandon, L. V., & Quevedo Vázquez, J. O. (2020). Maquina bio-recicladora de plástico pet: un emprendimiento viable. Caso Azogues – Ecuador. *Telos Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 22(2). <https://doi.org/10.36390/telos222.11>
- Palma Mejía, L. R., Quiroz Flores, P. A., & Robles Lora, M. A. (2023). Estudio de métodos para incrementar la productividad en la curtiembre Industrias Herpami EIRL. *Revista Ingeniería*, 7(19). <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v7i19.112>
- Pazmiño, M. F., Del Hierro, A. G., & Flores, F. J. (2023). Genetic diversity and organic waste degrading capacity of *Hermetia illucens* from the evergreen forest of the Equatorial Choco lowland. *PeerJ*, 11. <https://doi.org/10.7717/peerj.14798>
- Pérez-Cerrato, M., Fraile, I., Gómez-Cortés, J. F., Urionabarrenetxea, E., Ruiz-Larrea, I., González, I., Nó, M. L., Burgos, N., & San Juan, J. M. (2022). Designing for Shape Memory in Additive Manufacturing of Cu–Al–Ni Shape Memory Alloy Processed by Laser Powder Bed Fusion. *Materials*, 15(18). <https://doi.org/10.3390/ma15186284>
- Prabha, K., Ghosh, P., S, A., Joseph, R. M., Krishnan, R., Rana, S. S., & Pradhan, R. C. (2021). Recent development, challenges, and prospects of extrusion technology. *En Future Foods* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100019>
- Ramírez, A. M. H., Hajduk, D. H. P., Martínez, D. M. C., & Trujillo, A. I. U. (2023). Indicator framework for large-scale cacao (*Theobroma cacao* L.) in vitro plant production planning and controlling. *Bionatura*, 8(1). <https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.01.8>
- Ramírez Antezana, A. V. (2022). Reciclaje de tereftalato de polietileno. *Revista Ingeniería*, 6(14). <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v6i14.90>
- Ramos Espinosa, G., & Lombana Gómez, G. A. (2019). Diseño e implementación de un sistema de extrusión de filamento para impresión 3D a partir de botellas recicladas [Universidad Autónoma de Occidente]. <http://hdl.handle.net/10614/11024>

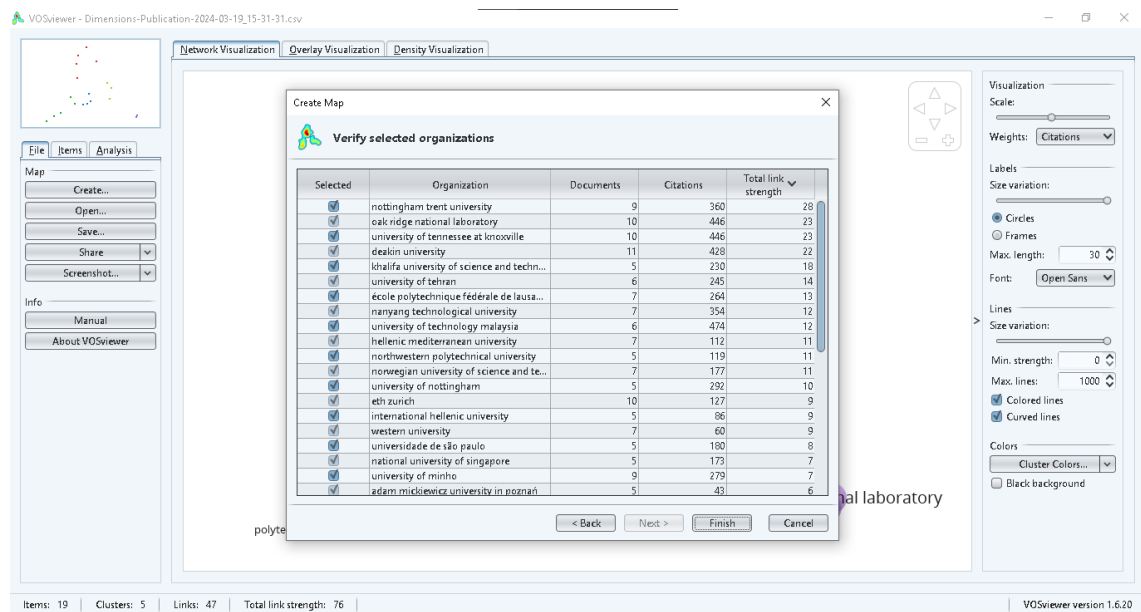
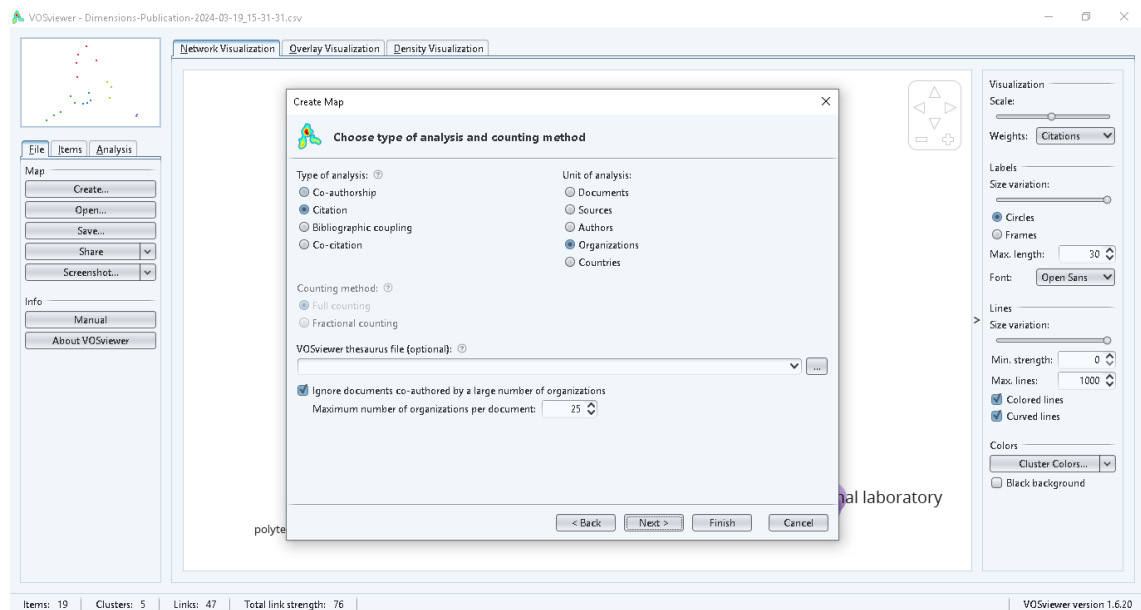
- Realyvásquez Vargas, A., Arredondo Soto, K. C., Blanco Fernandez, J., Sandoval Quintanilla, J. D., Jiménez Macías, E., & García Alcaraz, J. L. (2020). Work standardization and anthropometric workstation design as an integrated approach to sustainable workplaces in the manufacturing industry. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093728>
- Restrepo Salgado, M. P., Cortés Sáenz, D., & Arbeláez Ríos, S. E. (2021). Metodología de Diseño de Prendas Usando Textiles Impresos en 3D con Filamento PET Reciclado. *Cultura Científica y Tecnológica*, 18(3). <https://doi.org/10.20983/culcyt.2021.3.2.1>
- Rodríguez Alonso, E., Herrero Villar, M., Asensio Valentin, M., Guerrero Fernández, J., Cañibano Álvarez, E., Merino Senovilla, J. C., & Fernández Peña, M. T. (2021). Economía circular y fabricación aditiva: reciclaje y reintroducción de PET en dispositivos biomédicos. *MEMORIAS DEL XXVII CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*. https://somim.org.mx/memorias/memorias2021/articulos/A2_88.pdf
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1). [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- Silvestre, S. E. M., Chaicha, V. D. P., Merino, J. C. A., & Nallusamy, S. (2022). Implementation of a Lean Manufacturing and SLP-based system for a footwear company. *Production*, 32. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210072>
- Sotelsek Salem, D. F., & Laborda Castillo, L. (2019). Desarrollo y productividad agrícola en América Latina: el problema de la medición. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 16(1). <https://doi.org/10.22231/asyd.v1i1.981>
- Sousa, J., Nazarenko, A., Grunewald, C., Psarommatis, F., Fraile, F., Meyer, O., & Sarraipa, J. (2022). Zero-defect manufacturing terminology standardization: Definition, improvement, and harmonization. *Frontiers in Manufacturing Technology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fmtec.2022.947474>
- Suárez Borbor, J. J. (2022). Contaminación por residuos sólidos en tres playas: Chipipe, La Carioca y Ballenita, provincia de Santa Elena – Ecuador [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8872>
- Suárez P., I. T., Varguillas C., C. S., & Ronceros Morales, C. (2022). Técnicas e instrumentos de investigación. Diseño y validación desde la perspectiva cuantitativa. En *Técnicas e instrumentos de investigación. Diseño y validación desde la perspectiva cuantitativa*. <https://doi.org/10.46498/upelipb.lib.0013>
- Susanto, M. D., Andesta, D., & Jufriyanto, Moh. (2022a). Analisis Efektivitas Mesin Injection Moulding Menggunakan Metode OEE dan FMEA (Studi Kasus di PT.

- Cahaya Bintang Plastindo). JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri), 2(3).
<https://doi.org/10.30587/justicb.v2i3.3685>
- Susanto, M. D., Andesta, D., & Jufriyanto, Moh. (2022b). Analisis Efektivitas Mesin Injection Moulding Menggunakan Metode OEE dan FMEA (Studi Kasus di PT. Cahaya Bintang Plastindo). JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri), 2(3).
<https://doi.org/10.30587/justicb.v2i3.3685>
- Tirado Rebaza, L. U. M. (2021). Aprovechamiento de residuos sólidos plásticos PET para la construcción de una habitación ecológica en Tacna. *Arquitek*, 18.
<https://doi.org/10.47796/ra.2020i18.435>
- Tomalá Tomalá, N. S. (2023). Estudio de métodos y tiempos para la optimización de procesos en empresa recicladora ASC. S.A., provincia de Santa Elena, Ecuador. [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena].
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10599>
- Torres Alcaraz, C. (2023). Preparación de ecomezclas de polipropileno y PET opaco reciclado [Universitat Politècnica de Catalunya].
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/395972>
- Ulloa, C., Valencia, W., & Morales, L. (2023). Análisis de la productividad media sectorial en el Ecuador período 2008 al 2018. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(3).
<https://doi.org/10.56712/latam.v4i3.1112>
- Vargas Alice, N. (2023). Diseño de sistema embebido para máquina de reciclaje de PET. *Elektron*, 7(1). <https://doi.org/10.37537/rev.elektron.7.1.179.2023>
- Vazquez, J. O. H., Gonzalez, S. H., Vazquez, J. I. H., Fernandez, V. F., & de la Fuente, C. I. C. (2022). Buffer allocation problem in a shoe manufacturing line: A metamodeling approach. *Revista Facultad de Ingeniería*, 103.
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210735>
- Vázquez López, R. (2018). Cambio estructural y productividad laboral en la industria. Un análisis global. *El Trimestre Económico*, 85(338).
<https://doi.org/10.20430/ete.v85i338.310>
- Vidal, G. H., Hernández, J. R. C., & Minnaard, C. (2022). Modeling and statistical analysis of complexity in manufacturing systems under flow shop and hybrid environments. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118(9–10). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08028-9>
- Vigo Rivera, J. E., & Turpo Mamani, S. M. (2021). Uso de reciclado de plástico Tereftalato de Polietileno (PET) para la elaboración de adoquín de construcción. *UNACIENCIA*, 14(26).
<https://doi.org/10.35997/unaciencia.v14i26.617>

- Villavicencio Caparó, E., Torracchi Carrasco, E., Pariona Minaya, M. del C., & Alvear Córdova, M. C. (2019). ¿CÓMO PLANTEAR LAS VARIABLES DE UNA INVESTIGACIÓN?: OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES. *Odontología Activa Revista Científica*, 4(1). <https://doi.org/10.31984/oactiva.v4i1.289>
- Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., & Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658
- Zapata Bravo, Á., Vieira Escobar, V., Zapata-Domínguez, Á. Z.-D., & Rodríguez-Ramírez, A. (2021). La Economía Circular de las botellas PET en Colombia. *Cuadernos de Administración*, 37(70). <https://doi.org/10.25100/cdea.v37i70.10912>
- Zapata Chaves, D., Ortíz García, R. A., & Guerra Ocampo, D. (2019). Análisis del proceso productivo en una empresa de plásticos usando simulación discreta. *Avances Investigación en Ingeniería*, 16(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5203>
- Zhao, C., Liu, M., Du, H., & Gong, Y. (2021). The evolutionary trend and impact of global plastic waste trade network. *Sustainability (Switzerland)*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/su13073662>

ANEXOS

Anexo A Bibliometrico en software VOSviewer



Anexo B Centralización de grado

Gephi 0.10.1 - Proyecto

Vista general Laboratorio de datos Previsualización mapa productividad

Edición null - Propiedades

- Color [0,250,211]
- Tamaño de etiqueta 1.0
- Color de etiqueta null
- Etiqueta visible

null - Atributos

- Id 728
- Label <valor nulo>
- Interval <valor nulo>
- Weight 1.0

Tabla de datos

Origen	Destino	Tipo	Id	Weight	Label	Interval
11	12	Dirigida	1000	1.0		
11	4	Dirigida	1001	1.0		
11	13	Dirigida	1002	1.0		
11	18	Dirigida	1003	1.0		
11	14	Dirigida	1004	1.0		
11	6	Dirigida	1005	1.0		
11	15	Dirigida	1006	1.0		
11	16	Dirigida	1008	1.0		
11	5	Dirigida	1009	1.0		
11	17	Dirigida	1010	1.0		
11	1	Dirigida	1011	1.0		
11	19	Dirigida	1014	1.0		
11	20	Dirigida	1016	1.0		
11	3	Dirigida	1017	1.0		
11	22	Dirigida	1018	1.0		
12	13	Dirigida	1020	1.0		
12	21	Dirigida	1021	1.0		
12	14	Dirigida	1022	1.0		
12	2	Dirigida	1023	1.0		
12	15	Dirigida	1024	1.0		
12	9	Dirigida	1025	1.0		
12	16	Dirigida	1026	1.0		
12	4	Dirigida	1027	1.0		
12	17	Dirigida	1028	1.0		
12	18	Dirigida	1030	1.0		

Sin título - Power BI Desktop

Anthony De La Cruz

Archivo Inicio Insertar Modelado Ver Optimizar Ayuda Formato Datos y detalles

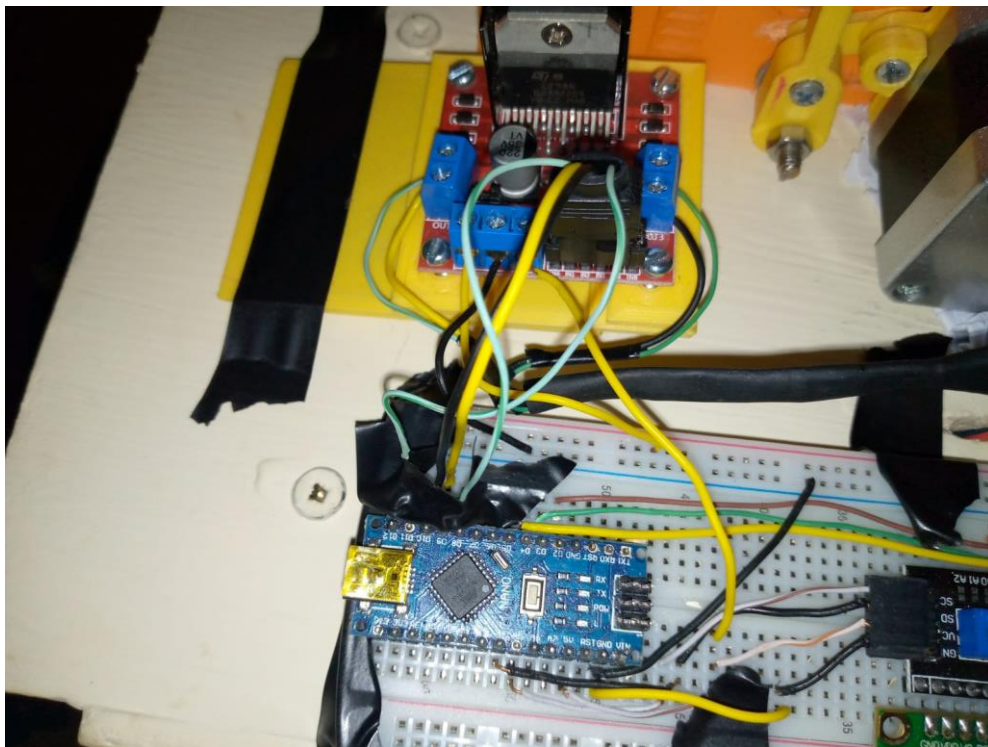
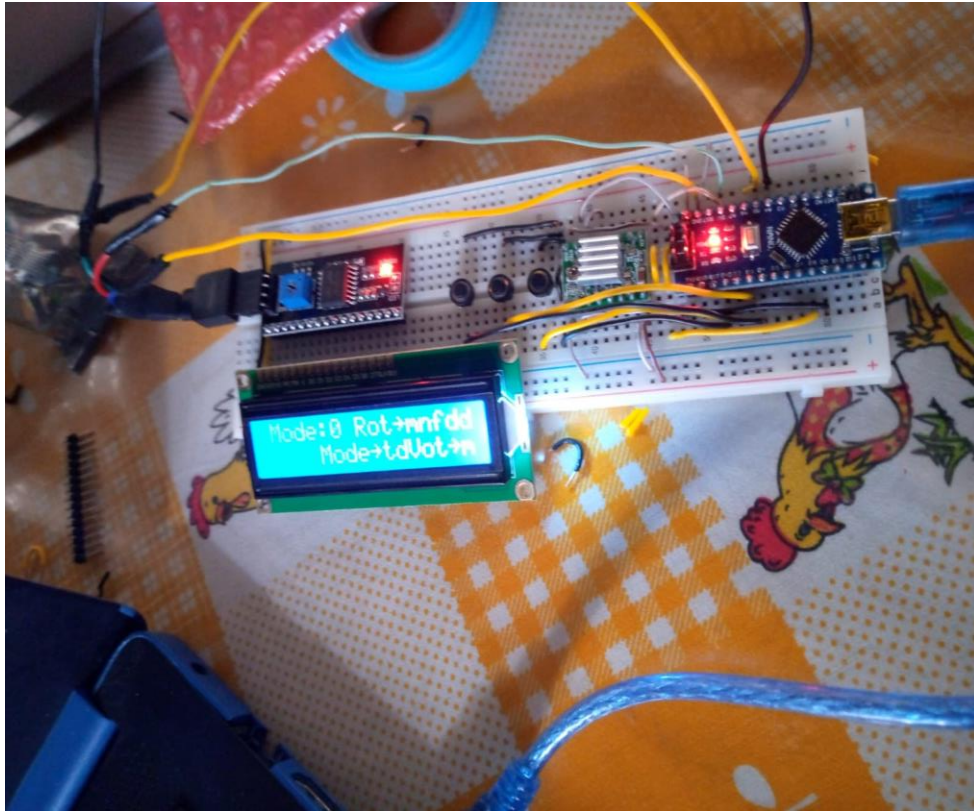
id
 Keyword
 occurrences
 relevance score

Página 1 de 1 Las consultas de objetos visuales están en pausa 80% Actualización disponible (clic para descargarla)

Anexo C Ensamblaje mecánico de prototipo



Anexo D Ensamblaje electrónico de prototipo





UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



ASUNTO: VALIDACIÓN DE FICHA DE OBSERVACIÓN POR EXPERTOS

OPINIÓN: YO Alfonso C. Veliz Aguayo con C.I. 090819228-0 requerido por el estudiante de ingeniería industrial, DE LA CRUZ GONZÁLEZ ANTHONY JOSUÉ, con C.I. 2400202764 para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario, señalo lo siguiente:

[Firma]
Firma

TEMA:
 "PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTO PET MEDIANTE SU ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA-UPSE"

METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN: El ábaco de Regnier es una técnica que permite a los expertos expresar sus opiniones sobre una escala gráfica, facilitando la visualización del consenso y las discrepancias en sus evaluaciones.

N#	PREGUNTAS	RESPUESTA DECLARADA POR ESCALA DE COLORES
1	Velocidad de extrusión	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	Tiempo de extrusión	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	Ancho de cintas	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	Longitud de cintas	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5	Diámetro de filamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6	Longitud de filamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7	Calidad del filamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
8	Tiempo de impresión	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

ESCALA ORDINAL DE COLORES	
<input type="checkbox"/>	Muy importante
<input type="checkbox"/>	Importante
<input type="checkbox"/>	Duda
<input type="checkbox"/>	Poco importante
<input type="checkbox"/>	Sin importancia
<input type="checkbox"/>	Sin respuesta

DATOS DEL EXPERTO	
Título académico:	<u>Ingeniero Mecánico</u>
Ocupación actual:	<u>Docente</u>
Años de experiencia:	<u>35 años</u>
Teléfono:	<u>099 6866782</u>
Correo:	<u>aveliz@upse.edu.ec</u>
Fecha de validación:	<u>28/5/2024</u>

Anexo F Validación de experto 2

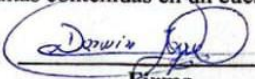


UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



ASUNTO: VALIDACIÓN DE FICHA DE OBSERVACIÓN POR EXPERTOS

OPINIÓN: YO Darwin Gustavo Jaque Puga con C.I 1803738500, requerido por el estudiante de ingeniería industrial, DE LA CRUZ GONZÁLEZ ANTHONY JOSUE, con C.I 2400202764 para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario, señalo lo siguiente:


 Firma

TEMA:
 “PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTO PET MEDIANTE SU ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA-UPSE”

METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN: El ábaco de Regnier es una técnica que permite a los expertos expresar sus opiniones sobre una escala gráfica, facilitando la visualización del consenso y las discrepancias en sus evaluaciones.

N#	PREGUNTAS	RESPUESTA DECLARADA POR ESCALA DE COLORES
1	Velocidad de extrusión	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	Tiempo de extrusión	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	Ancho de cintas	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	Longitud de cintas	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5	Diámetro de filamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6	Longitud de filamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7	Calidad del filamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
8	Tiempo de impresión	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

ESCALA ORDINAL DE COLORES	
<input checked="" type="checkbox"/>	Muy importante
<input type="checkbox"/>	Importante
<input type="checkbox"/>	Duda
<input type="checkbox"/>	Poco importante
<input type="checkbox"/>	Sin importancia
<input type="checkbox"/>	Sin respuesta

DATOS DEL EXPERTO	
Título académico:	<u>Ingeniero Industrial</u>
Ocupación actual:	<u>Docente</u>
Años de experiencia:	<u>8 años</u>
Teléfono:	<u>0995551966</u>
Correo:	<u>djaque@hotmail.com</u>
Fecha de validación:	<u>28/05/2024</u>

Anexo G Validación de experto 3



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



ASUNTO: VALIDACIÓN DE FICHA DE OBSERVACIÓN POR EXPERTOS

OPINIÓN: YO Edison Noc Bucarón Bucarón con C.I. 1804510636, requerido por el estudiante de ingeniería industrial, **DE LA CRUZ GONZÁLEZ ANTHONY JOSUÉ**, con C.I. 2400202764 para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario, señalo lo siguiente:

Firma

TEMA:
"PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTO PET MEDIANTE SU ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA-UPSE"

METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN: El ábaco de Regnier es una técnica que permite a los expertos expresar sus opiniones sobre una escala gráfica, facilitando la visualización del consenso y las discrepancias en sus evaluaciones.

N#	PREGUNTAS	RESPUESTA DECLARADA POR ESCALA DE COLORES
1	Velocidad de extrusión	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	Tiempo de extrusión	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	Ancho de cintas	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	Longitud de cintas	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5	Diámetro de filamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6	Longitud de filamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7	Calidad del filamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
8	Tiempo de impresión	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

ESCALA ORDINAL DE COLORES	
<input checked="" type="checkbox"/>	Muy importante
<input type="checkbox"/>	Importante
<input type="checkbox"/>	Duda
<input type="checkbox"/>	Poco importante
<input type="checkbox"/>	Sin importancia
<input type="checkbox"/>	Sin respuesta

DATOS DEL EXPERTO	
Título académico:	Ingeniero Industrial
Ocupación actual:	Docente Universitario
Años de experiencia:	7
Teléfono:	0993792501
Correo:	ebucarono@upse.edu.ec
Fecha de validación:	28-05-2024

Anexo I Ficha de recolección de datos AY

Elaborado por:		Anthony José De la Cruz González						Fecha de Observación:		23-05-2024		
Revisado por:		Gerson Antonio Herrera Barrios PhD						Codificación:		AY		
Velocidad de Extrusión Proyectada	Intervalo de Ancho de cinta	ID de Observaciones	Corte de Cintas				Extrusión de Filamento					Impresión 3D
			Ancho de Cinta (mm)	Media de ancho de cinta (mm)	Longitud de cinta (cm)	Tiempo de extrusión (seg)	Velocidad de Extrusión Real (cm/s)	Longitud de filamento (cm)	Diámetro de filamento (mm)	Media de Diámetro de Filamento (mm)	Calidad del filamento	
TIPO A 1,788cm/s	Y 6,5-7,5mm	AY1	6,88	6,93	100,7	73	1,69	123,2	1,70	1,69	4	9
			6,95						1,65		1	
			6,93						1,67		3	
			6,97						1,72		4	
		AY2	7,10	7,17	101,2	74	1,68	124,6	1,69	1,72	3	9
			7,26						1,74		3	
			7,19						1,75		3	
			7,13						1,71		4	
		AY3	6,73	6,79	100,5	73	1,68	122,5	1,74	1,72	3	9
			6,80						1,72		4	
			6,77						1,68		3	
			6,85						1,75		3	
		AY4	7,11	7,04	101,4	75	1,67	123,3	1,72	1,71	4	9
			7,07						1,70		4	
			6,94						1,73		3	
			7,04						1,68		3	

OBSERVACIONES:

ANEXOS:

Test





Retest



Anthony JDC
Elaborado por:

[Signature]
Revisado por:

Anexo J Ficha de recolección de datos AZ


		FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CONTROL DE PROCESO DE FILAMENTOS PET										
Elaborado por:		Anthony Jgúe De la Cruz Gonzalez					Fecha de Observación:		23-05-2024			
Revisado por:		LIERADO ANTONIO HERRERA BRUNET PhD					Codificación:		AZ			
Velocidad de Extrusión Proyectada	Intervalo de Ancho de cinta	ID de Observaciones	Corte de Cintas			Extrusión de Filamento					Impresión 3D	
			Ancho de Cinta (mm)	Media de ancho de cinta (mm)	Longitud de cinta (cm)	Tiempo de extrusión (seg)	Velocidad de Extrusión Real (cm/s)	Longitud de filamento (cm)	Diámetro de filamento (mm)	Media de Diámetro de Filamento (mm)	Calidad del filamento	Tiempo de impresión (min)
TIPO A 1,788cm/s	Z 7,5-8,5mm	AZ1	8,30	8,34	100,9	70	1,67	116,9	1,73	1,73	5	10
			8,29						4			
			8,41						4			
			8,34						2			
		AZ2	8,25	8,19	100,8	70	1,70	119,2	1,70	1,71	4	10
			8,17						4			
			8,19						3			
			8,16						4			
		AZ3	8,14	8,22	100,6	71	1,66	117,7	1,68	1,72	3	10
			8,27						4			
			8,23						5			
			8,22						4			
		AZ4	8,41	8,34	100,7	71	1,70	118,9	1,73	1,74	5	10
			8,37						5			
			8,26						5			
			8,30						5			

OBSERVACIONES:


En todas las observaciones el proceso mostro atascamientos en los engranajes
 En AZ1 se - tuvo que apagar el motor

ANEXOS:

Test



Retest



Anthony Jgúe
Elaborado por:

L. Herrera
Revisado por:


Anexo K Ficha de recolección de datos BX

Elaborado por:		Anthony Josué De la Cruz González						Fecha de Observación:		23-05-2024			
Revisado por:		GEMDA ANTONIO HERMAN BRUNETT PhR						Codificación		BX			
Velocidad de Extrusión Proyectada	Intervalo de Ancho de cinta	ID de Observaciones	Corte de Cintas			Extrusión de Filamento						Impresión 3D	
			Ancho de Cinta (mm)	Media de ancho de cinta (mm)	Longitud de cinta (cm)	Tiempo de extrusión (seg)	Velocidad de Extrusión Real (cm/s)	Longitud de filamento (cm)	Díámetro de filamento (mm)	Media de Diámetro de Filamento (mm)	Calidad del filamento	Tiempo de impresión (min)	
TIPO B 2,325cm/s	X 5,5-6,5mm	BX1	6,32	6,22	100,5	54	2,11	113,8	1,67	1,67	3	9	
			6,18						6,69		3		
			6,24						4,65		1		
		BX2	6,15	6,1	101,2	52	2,12	110,1	1,68	1,68	4	9	
			5,93						1,72		3		
			6,10						1,66		1		
		BX3	6,13	6,18	100,7	53	2,12	112,4	1,67	1,67	4	9	
			6,24						1,70		3		
			6,15						1,69		1		
		BX4	6,25	6,20	101,3	51	2,14	109,3	1,65	1,71	3	9	
			6,18						1,66		3		
			6,21						1,67		4		
			6,27						1,31		3		
										1,69		3	
										1,68		3	
										1,74		5	


OBSERVACIONES:

ANEXOS:

Test



Retest



Anthony PC
Elaborado por:

[Signature]
Revisado por:


Anexo L Ficha de recolección de datos BY

Velocidad de Extrusión Proyectada		Intervalo de Ancho de cinta	ID de Observaciones	Corte de Cintas			Extrusión de Filamento					Impresión 3D	
				Ancho de Cinta (mm)	Media de ancho de cinta (mm)	Longitud de cinta(cm)	Tiempo de extrusión (seg)	Velocidad de Extrusión Real (cm/s)	Longitud de filamento (cm)	Diámetro de filamento (mm)	Media de Diámetro de Filamento (mm)	Calidad del filamento	Tiempo de impresión (min)
TIPO B 2,325cm/s	Y 6,5-7,5mm	BY1	6,67	6,70	101,8	53	2,28	121,2	1,69	1,70	3	9	
			6,70						1,71		4		
			6,64						1,68		3		
			6,70						1,70		4		
		BY2	6,98	6,99	101,9	55	2,27	125,1	1,75	1,73	5	9	
			7,03						1,73		5		
			6,94						1,71		4		
			7,01						1,72		4		
		BY3	6,86	6,96	102,1	55	2,27	124,7	1,73	1,73	5	9	
			6,93						1,72		4		
			7,97						1,74		5		
			7,06						1,71		4		
		BY4	6,72	6,79	101,7	54	2,27	122,6	1,72	1,71	4	9	
			6,82						1,70		4		
			6,78						1,68		3		
			6,81						1,73		5		


OBSERVACIONES:

ANEXOS:

Test



Retest



Anthony PLC
Elaborado por:


Revisado por:

Anexo M Ficha de recolección de datos BZ

Elaborado por:		FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CONTROL DE PROCESO DE FILAMENTOS PET						Fecha de Observación:		23-05-2024		
Revisado por:		FERRERAS ANTONIO HERNAN BRUNETT PHD						Codificación		BZ		
Velocidad de Extrusión Proyectada	Intervalo de Ancho de cinta	ID de Observaciones	Corte de Cintas				Extrusión de Filamento					Impresión 3D
			Ancho de Cinta (mm)	Media de ancho de cinta (mm)	Longitud de cinta (cm)	Tiempo de extrusión (seg)	Velocidad de Extrusión Real (cm/s)	Longitud de filamento (cm)	Diámetro de filamento (mm)	Media de Diámetro de Filamento (mm)	Calidad del filamento	Tiempo de impresión (min)
TIPO B 2,325cm/s	Z 7,5-8,5mm	BZ1	8,44	8,26	100,6	47	2,26	106,4	1,75	1,78	5	10
			8,20						2			
			8,25						1			
			8,16						5			
		BZ2	7,71	8,00	100,3	48	2,22	106,6	1,81	1,80	1	10
			8,08						5			
			8,10						2			
			8,12						1			
		BZ3	7,86	7,98	100,5	48	2,25	108,2	1,78	1,79	2	10
			8,11						5			
			8,01						2			
			7,95						1			
		BZ4	8,26	8,33	100,4	49	2,23	109,5	1,83	1,82	1	10
			8,31						1			
			8,34						2			
			8,40						2			

OBSERVACIONES:

BZ1 y BZ2 tuvieron atascamientos en los engranajes y se pausó el proceso para ajustamiento. en BZ3 y BZ4 se mantuvo presión en el motor punto medio.

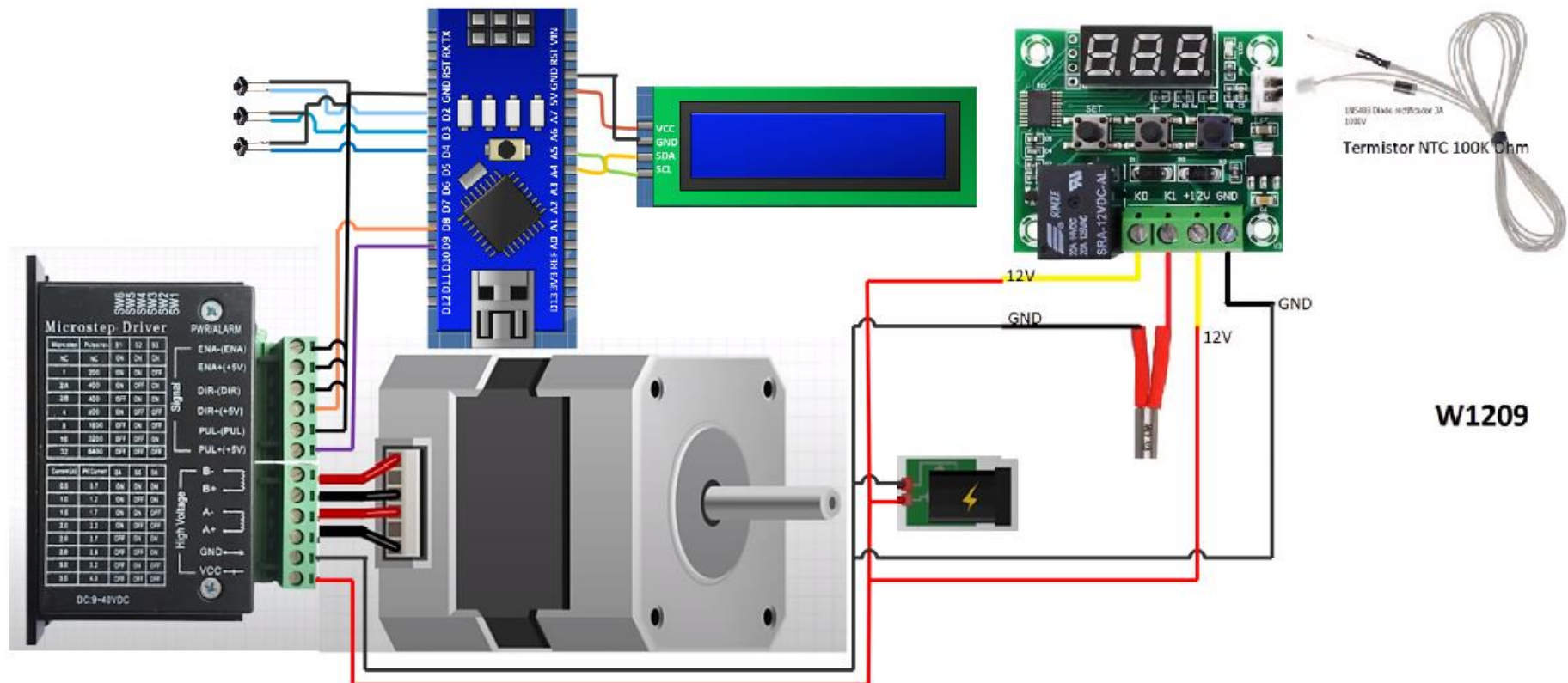
ANEXOS:



Elaborado por:
Anthony BZ

Revisado por:

Anexo N Circuito Electrónico



Anexo O Código de Arduino Nano

```
#include <EEPROM.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
int m_dly,m_rot,mode,m,sm,m_speed;
long sys_dly,rot;
bool st,m_st,m_dir,dis;
void setup() {
  lcd.begin(2,16);
  lcd.backlight();
  pinMode(2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(4, INPUT_PULLUP);
  pinMode(8,OUTPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  mode=EEPROM.read(0);
  if(mode>2)mode=0;
  m_speed =EEPROM.read(1);
  m_speed =m_speed+EEPROM.read(2)*100;
  m_speed =m_speed+EEPROM.read(3)*1000;
  if(m_speed>1000)m_speed=10;
  m_rot =EEPROM.read(4);
  m_rot =m_rot+EEPROM.read(5)*100;
  m_rot =m_rot+EEPROM.read(6)*1000;
  if(m_rot>1000)m_rot=0;
}
void loop() {
  rot=m_rot*600;
  if (digitalRead(2)&digitalRead(3)&digitalRead(4))st=m_dly = 0;
  if (!digitalRead(2)&!st){
  if(m>0&m<4)sm++;
  m_dly++;
  if(m_dly>20){
    m_dly=0;
    m=1;
    st=1;
  }
  if(m>0)st=1;
```

```

if(m==4)m=0;
if(sm>1&m==1){sm=0;
EEPROM.update(0, mode);
}
if(sm>3&m==2){sm=0;
EEPROM.update(1, m_speed%100);
EEPROM.update(2, (m_speed/100)%100);
EEPROM.update(3, (m_speed/1000)%100);
}
if(sm>3&m==3){sm=0;
EEPROM.update(4, m_rot%100);
EEPROM.update(5, (m_rot/100)%100);
EEPROM.update(6, (m_rot/1000)%100);
}
}
if (!digitalRead(3)&!st){
st=1;
if(m==0)dis=1;
  if(m==0){
    m_dir=!m_dir;
  }
  if(m!=0){
    if(sm==0)m++;
    if(m==1&sm==1)mode++;
    if(mode>2)mode=0;
    if(m==2&sm==1)m_speed =m_speed +10;
    if(m==2&sm==2)m_speed =m_speed +100;
    if(m_speed>1000)m_speed=10;
    if(m==3&sm==1)m_rot =m_rot +1;
    if(m==3&sm==2)m_rot =m_rot +10;
    if(m==3&sm==3)m_rot =m_rot +100;
    if(m_rot>1000)m_rot=1;
    if(m>4)m=1;}
}
if (!digitalRead(4)&!st){
st=1;
if(m==0)dis=1;
  if(m==0){

```

```

    m_st=!m_st;
    sys_dly=0;
}
if(m!=0){
    if(sm==0)m--;
    if(m==1&sm==1)mode--;
if(mode<0)mode=3;
if(m==2&sm==1)m_speed =m_speed -10;
if(m==2&sm==2)m_speed =m_speed -100;
if(m_speed<10)m_speed=1000;
if(m==3&sm==1)m_rot =m_rot -1;
if(m==3&sm==2)m_rot =m_rot -10;
if(m==3&sm==3)m_rot =m_rot -100;
if(m_rot<0)m_rot=1000;
    if(m<1)m=4;}
}
if((m==0&!m_st)|dis){
    dis=0;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Mode:");
    lcd.print(mode);
    lcd.print(" Rot:");
    if(m_rot<1|mode==0)lcd.print("inf");
    else lcd.print(m_rot);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Moter:");
    if(m_st)lcd.print("ON ");
    else lcd.print("OFF");
    lcd.print(" Dir:");
    if(m_dir)lcd.print("FW");
    else lcd.print("RW");
    digitalWrite(8,0);
}
//-----
if(m_st){
if(mode==0){
digitalWrite(8,m_dir);

```

```

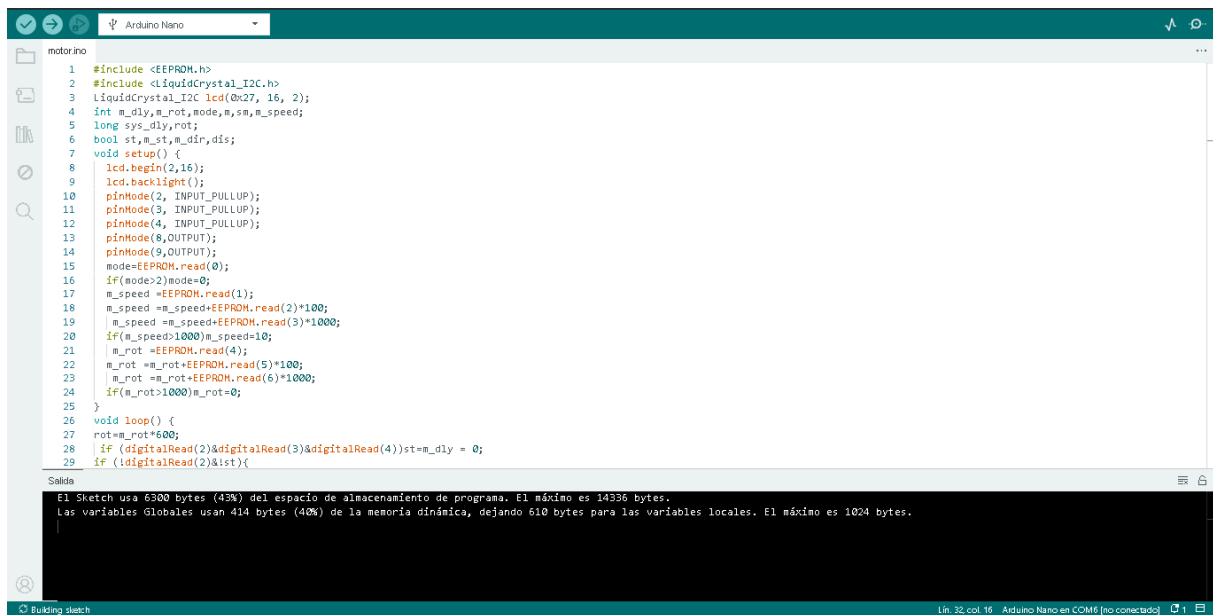
digitalWrite(9,0);
delayMicroseconds(200-m_speed);
digitalWrite(9,1);
delayMicroseconds(200-m_speed);}
if(mode>0&sys_dly<rot){
    sys_dly++;
digitalWrite(8,m_dir);
digitalWrite(9,0);
delayMicroseconds(200-m_speed);
digitalWrite(9,1);
delayMicroseconds(200-m_speed);
}else if(mode==1) m_st=0;
else if(mode==2) {m_st=0;m_dir=!m_dir; }
}
//-----
if(m==1){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("  Set Mode  ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    if(sm==0) lcd.print("[-----]");
else{ lcd.print("  Mode:");
    lcd.print(mode);
    lcd.print("  ");}
}
if(m==2){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("  Set Speed  ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    if(sm==0) lcd.print("[-----]");
else{ lcd.print("  Speed:");
    lcd.print(m_speed);
    lcd.print("  ");}}
if(m==3){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" Set Rotations ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    if(sm==0) lcd.print("[-----]");
else{ lcd.print("  Rot:");

```

```

    lcd.print(m_rot);
    lcd.print("      ");}
}
if(m==4){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("      Exit      ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX");
}

```



```

motorino
1 #include <EEPROM.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
4 int m_dly,m_rot,mode,m_sm,m_speed;
5 long sys_dly,rot;
6 bool st,m_st,m_dir,dís;
7 void setup() {
8     lcd.begin(2,16);
9     lcd.backlight();
10    pinMode(2, INPUT_PULLUP);
11    pinMode(3, INPUT_PULLUP);
12    pinMode(4, INPUT_PULLUP);
13    pinMode(8,OUTPUT);
14    pinMode(9,OUTPUT);
15    mode=EEPROM.read(0);
16    if(mode>2)mode=0;
17    m_speed =EEPROM.read(1);
18    m_speed =m_speed+EEPROM.read(2)*100;
19    m_speed =m_speed+EEPROM.read(3)*1000;
20    if(m_speed>1000)m_speed=10;
21    m_rot =EEPROM.read(4);
22    m_rot =m_rot+EEPROM.read(5)*100;
23    m_rot =m_rot+EEPROM.read(6)*1000;
24    if(m_rot>1000)m_rot=0;
25 }
26 void loop() {
27     rot=m_rot*600;
28     if (digitalRead(2)&digitalRead(3)&digitalRead(4))st=m_dly = 0;
29     if (!digitalRead(2)&st){

```

Salida

El Sketch usa 6800 bytes (43%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 14336 bytes.
 Las variables Globales usan 414 bytes (40%) de la memoria dinámica, dejando 610 bytes para las variables locales. El máximo es 1024 bytes.

Bulking sketch Ln. 32, col. 16 Arduino Nano en COM6 [no conectado]

Anexo P Parámetros de impresión

PREPARAR VISTA PREVIA SUPERVISAR Marketplace Iniciar sesión

Combinación de colores Tipo de línea

Standard Quality - 0.2mm 20% Apagado Apagado

Ajustes de impresión

Perfil Standard Quality - 0.2mm

Buscar ajustes

Temperatura

Temperatura de impresión	260.0 °C
Temperatura de impresión de la capa inicial	260.0 °C
Temperatura de impresión inicial	260.0 °C
Temperatura de impresión final	260.0 °C
Temperatura de la placa de impresión	80.0 °C
Temperatura de la placa de impresión en la capa inicial	80.0 °C

Flujo

Flujo	150.0 %
-------	---------

Velocidad

Velocidad de impresión	50.0 mm/s
------------------------	-----------

Recomendado

Guardar en disco