

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OBTENCIÓN DE FILAMENTO DE POLIPROPILENO (PP)
A PARTIR DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO PARA
IMPRESIÓN 3D

Por:

JOEL FERNANDO ORTEGA ALARCÓN

Proyecto de Grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado
académico de Licenciatura en Ingeniería Química

Febrero de 2025

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO

Ing. Fernando E. Cortez Michel
VIDECANO

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. David Balderrama Paredes

Ing. Juan Pablo Herbas Barrancos

Ing. Rene Emilio Michel Cortes

Advertencia

El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo ellos únicamente responsabilidad del autor.

Dedicatoria

Lo dedico a mi familia por su apoyo y comprensión que día a día me brindaron, e hicieron que pueda culminar mis estudios satisfactoriamente.

Agradecimientos

A Dios

Por darme la dicha de vivir y cumplir mis sueños.

A mi familia

Por el cariño y apoyo que me brindaron, por la confianza que depositaron en mí para que pueda lograr mi objetivo.

A mis docentes

Por las enseñanzas que fortalecerán nuestro espíritu para enfrentar y solucionar los obstáculos que se nos presenten en nuestra sociedad.

Pensamiento

La superación del hombre está en la voluntad y el poder de decisión, cualidades que se logran a través de una adecuada educación integral y autoestima personal.

CONTENIDO

Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Objetivos	5
OBJetivo general	5
Objetivos específicos	5
Justificación.....	6
Justificación tecnológica	6
Justificación económica	6
Justificación social.....	6
Justificación ambiental.....	6
Justificación personal.....	6

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO

1.1. Procesos de obtención de filamentos para impresión 3d.....	7
1.1.2. Obtención de filamentos para impresión 3d mediante una extrusora	7
1.1.2.1. Transporte de solidos (zona de alimentación).....	8
1.1.2.2. Transición del material	8
1.1.2.3. Plastificación y homogenización.....	8
1.1.2.4. Conformado.....	8
1.1.3. Obtención de filamentos para impresión 3d mediante un pullstruder.....	11

1.2.Extrusora	13
1.3.Partes de una extrusora.....	13
1.3.1. Tornillo o husillo	13
1.3.2. Cilindro	15
1.3.3. Tolla y apertura de alimentación.....	16
1.3.4. Boquilla	17
1.3.5. Sistema de calentamiento	18
1.3.6. Motor	18
1.3.7. Control.....	18
1.4.Características de los plásticos	18
1.4.1. Clasificación de plásticos	18
1.5.Filamentos para impresión 3d.....	20
1.5.1. Características generales de un filamento para impresión 3d.....	20
1.6.Tipos de plásticos para filamentos de impresión 3d	21
1.6.1. Pla.....	21
1.6.2. Abs	21
1.6.3. Pet.....	22
1.6.4. Petg.....	22
1.6.5. Nylon	22
1.6.6. Hips	23
1.6.7. Filamento de fibra de carbono	24
1.6.8. Pp.....	25
1.6.9. Tpe.....	25
1.7. Datos experimentales de filamentos obtenidos mediante una maquina extrusora casera.....	29
1.8. Características generales del polipropileno	30
1.8.1. Tipos de polipropileno.....	32
1.8.1.1. Polipropileno de homopolímero (pph)	32
1.8.1.2. Polipropileno de copolímero (ppc).....	33
1.8.1.3. Polipropileno de copolímero random (ppr)	33

1.8.1.4. Terpolimero.....	33
1.9. Viscosidad del polipropileno	34
1.10. Aplicaciones del polipropileno	35

CAPÍTULO II: PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Descripción y análisis de la materia prima.....	35
2.1.1. Caracterización del polipropileno	35
2.1.2. Propiedades del polipropileno	36
2.1.3. Propiedades de resistencia química.....	36
2.2. Objetivos en la parte experimental	37
2.3. Descripción del método de investigación.....	37
2.4. Descripción del proceso de diseño y construcción del prototipo	39
2.4.1. Tornillo sin fin	40
2.4.2. Cilindro.....	41
2.4.3. Tolva.....	43
2.4.4. Resistencia	43
2.4.5. Control de temperatura.....	44
2.4.6. Motorreductor	46
2.5. Especificaciones técnicas de los equipos y controladores utilizados para el prototipo	49
2.6. Sistema de conexiones	53
2.7. Soportes y base	54
2.8. Determinación del flujo volumétrico del extrusor	55
2.9. Determinación flujo másico polipropileno	55
2.10.Descripción del funcionamiento del equipo	58
2.10.1. Control de temperatura	58
2.10.2. Fusión del material	58
2.10.3. Enfriamiento.....	59
2.10.4. Embobinado	59

2.11. Puesta en marcha del extrusor	60
2.12. Descripción del procedimiento para tomar muestra	64
2.13. Diseño factorial.....	65
2.13.1. Selección de variables del proceso factorial	65
2.13.2. Diseño factorial 2k	66

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados obtenidos en el diseño factorial.....	70
3.1.1. Resultados cualitativos	70
3.1.2. Resultados cuantitativos	70
3.2. Análisis del producto obtenido	73
3.3 análisis estadístico del diseño experimental.....	74
3.3.1. Análisis de varianza univariante	74
3.3.2. Determinación del modelo matemático.....	76
3.4. Análisis económico	79

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.....	80
4.2. Recomendación.....	82

BIBLIOGRAFÍA

bibliografía	82
--------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0-1. Importaciones de Filamentos sintéticos de Bolivia (incluidos monofilamentos)	2
Tabla 0-2. Acciones correspondientes a objetivos específicos.....	5
Tabla I-1. Tabla Comparativa de los tipos de filamentos para impresión 3D.....	26
Tabla I-2. Variación de diámetro.....	29
Tabla II-1. Propiedades físicas del polipropileno.....	36
Tabla II-2. Propiedades de resistencia química del polipropileno	36
Tabla II-3. Rango de velocidades de cizalla en diversos procesos	47
Tabla II-4. Especificaciones técnicas de equipos y controladores	49
Tabla II-5. Dimensiones y especificaciones de la extrusora.....	55
Tabla II-6. Expresiones k para distintas formas de boquilla.....	57
Tabla II-7. Datos de tiempo de calentamiento	61
Tabla II-8. Datos de tiempo de enfriamiento	62
Tabla II-9. Variables independientes y dependiente del proceso del proceso	66
Tabla II-10. Codificación de variables	68
Tabla II-11. Diseño factorial para el proceso de extrusión.....	68
Tabla II-12. Selección de niveles de variables.....	69
Tabla II-13. Diseño factorial para el proceso de extrusión.....	69
Tabla III-1. Resultados obtenidos de diámetro para replica 1	70
Tabla III-2. Resultados obtenidos de diámetro para replica 2	72
Tabla III-3. Resumen resultados obtenidos de diámetro	73
Tabla III-4. Estadísticos descriptivos	75
Tabla III-5. Efectos intersujetos.....	75
Tabla III-6. Resumen del modelo matemático.....	76
Tabla III-7. ANOVA	77
Tabla III-8. Coeficientes del modelo matemático.....	77
Tabla III-9. Diámetros observados y calculados.....	78
Tabla III-10. Presupuestos para construcción de extrusora.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Tabla 0-1. Importaciones de Filamentos sintéticos de Bolivia (incluidos monofilamentos)	2
Tabla 0-2. Acciones correspondientes a objetivos específicos.....	5
Tabla I-1. Tabla Comparativa de los tipos de filamentos para impresión 3D.....	26
Tabla I-2. Variación de diámetro.....	29
Tabla II-1. Propiedades físicas del polipropileno.....	36
Tabla II-2. Propiedades de resistencia química del polipropileno	36
Tabla II-3. Rango de velocidades de cizalla en diversos procesos	47
Tabla II-4. Especificaciones técnicas de equipos y controladores	49
Tabla II-5. Dimensiones y especificaciones de la extrusora.....	55
Tabla II-6. Expresiones k para distintas formas de boquilla.....	57
Tabla II-7. Datos de tiempo de calentamiento	61
Tabla II-8. Datos de tiempo de enfriamiento	62
Tabla II-9. Variables independientes y dependiente del proceso del proceso	66
Tabla II-10. Codificación de variables	68
Tabla II-11. Diseño factorial para el proceso de extrusión.....	68
Tabla II-12. Selección de niveles de variables.....	69
Tabla II-13. Diseño factorial para el proceso de extrusión.....	69
Tabla III-1. Resultados obtenidos de diámetro para replica 1	70
Tabla III-2. Resultados obtenidos de diámetro para replica 2	72
Tabla III-3. Resumen resultados obtenidos de diámetro	73
Tabla III-4. Estadísticos descriptivos	75
Tabla III-5. Efectos intersujetos.....	75
Tabla III-6. Resumen del modelo matemático.....	76
Tabla III-7. ANOVA	77
Tabla III-8. Coeficientes del modelo matemático.....	77
Tabla III-9. Diámetros observados y calculados.....	78
Tabla III-10. Presupuestos para construcción de extrusora.....	79

GLOSARIO

PP	Polipropileno
PLA	Poliácido Láctico
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
PETG	Teraftalato de polietileno modificado con glicol
PET	Polietileno tereftalato
HDPE	Polietileno de alta densidad
PVC	Policloruro de vinilo
LDPE	Polietileno de baja densidad
PS	Poliestireno
PC	Policarbonato
NylonPA6	Poliamida producida por la polimerización de una molécula con seis átomos de carbono
HIPS	Poliestireno resistente al impacto
TPE	Elastómero plástico
rpm	Revoluciones por minuto
θ	Angulo del filete del tornillo sin fin (°)
L	Longitud del tornillo sin fin (m)
D	Diámetro del tornillo sin fin (m)
w	Paso de rosca de tornillo sin fin (m)

L_a	Longitud de apertura (m)
A	Ancho de apertura (m)
N	Velocidad angular del husillo (rev/min)
γ	Velocidad de cizallamiento (1/s)
h	Altura de filete
P	Potencia (W)
k	Factor de proporcionalidad
Q	Flujo volumétrico (m ³ /s)
m	Flujo másico (kg/hr)
μ	Viscosidad (Pa*s)
k	Constante que depende del orificio de la boquilla (m ³)
ΔP	Variación de presión (Pa)
R	Radio de boquilla (m)
L_b	Longitud de boquilla (m)
PV	Point Value
SV	SET Value
PID	Control proporcional integral derivativo