

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE FABRICACIÓN DE FILAMENTOS PARA
IMPRESORAS A 3D.

INTEGRANTES: CEDILLO ENRIQUEZ KEVIN ANDERSON
DIRECTOR: SÁNCHEZ SÁNCHEZ, XAVIER ROLANDO, PHD.





CONTENIDO

- Introducción
- Definición del problema
- Justificación
- Alcance
- Objetivos
- Metodología
- Materiales
- Obtención de filamento
- Diseño
- Impresión de modelo
- DOE
- Caracterización
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



[Introducción](#)

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Introducción

En la actualidad se utiliza la impresión 3D para la fabricación de modelos visuales de prototipos o piezas, estos son elaborados depositando capas de un termoplástico fundido superponiéndolas una encima de otra, el material que se funde se le conoce como filamento, siendo los mas comunes PLA, ABS o PETG, en este proyecto se busco si es factible producir un filamento a partir de material reciclado, el cual sea adecuado para ser utilizado en una impresora 3D convencional.



[Introducción](#)

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Introducción

El diseño y construcción de una volteadora de malla electrosoldada es una solución eficiente y versátil que permite el movimiento automatizado de objetos, productos o materiales en entornos industriales, siendo que su implementación proporciona beneficios significativos en términos de eficiencia, productividad y seguridad laboral.



Definición del Problema

Introducción

[Definición del problema](#)

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Para producir una pieza por impresión 3D es necesario suministrar la materia prima a la maquina , esta es el filamento, en el Ecuador la producción de filamentos para impresión 3D esta en fase de investigación y ensayos por Bacteria Lab y Tachapir (Prendho UTPL, 2018),, aun no se produce una cantidad suficiente para ser comercializada por lo cual se sigue recurriendo a los filamentos importados.

Figura 1.

Rollo de filamento 3D importado





Definición del Problema

Debido a las 400 millones de toneladas de plástico producidas anualmente y que solo el 9% han podido ser reutilizados, se busca fomentar el reciclaje produciendo un filamento para impresión 3D con el cual se busca reducir la cantidad de plásticos que terminan en vertederos y rellenos municipales

Introducción

[Definición del problema](#)

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



ECUADOR

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Justificación

Las impresoras 3D están siendo muy empleadas para la impresión de modelos visuales o piezas de algún mecanismo que quiere construir o reparar, para que estas sean fabricadas se requiere de un suministro de filamento.

La mayoría de usuarios de impresoras 3D desconocen que es posible obtener filamento de material reciclado en el país, por lo cual siguen optando por los importados.



Introducción

Definición del problema

Justificación

[Alcance](#)

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Alcance

Recolectar envases plasticos para procesarlos en una trituradora y extrusora y analizar que tan factible es obtener un filamento de 1,75mm de diámetro a partir de estos, capaz de ser usado en impresoras 3D convencionales.

Determinar parámetros de mezcla y temperatura con los cuales se puede obtener este filamento.

Diseñar y construir un sistema de enrollado el cual recolectara el filamento enrollándolo en un carrete.

Caracterizar el nuevo material para obtener propiedades físicas y mecánicas con ensayos de tensión.



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

[Objetivos](#)

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Objetivos

Objetivo general

Investigar y producir un filamento para impresoras 3D a partir de plásticos reciclados, que sea capaz de fabricar modelos y ser usado en impresoras 3D convencionales.



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

[Objetivos](#)

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Objetivos

Objetivos específicos

Objetivo específico 1

- Investigación de la composición de los filamentos termoplásticos para impresoras 3D.
- Estudio de viabilidad de producción de filamentos a base del reciclaje.
- Elaboración de la mezcla para los filamentos de impresión a 3D.
- Toma de datos y análisis de resultados.



Marco teórico

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Impresión 3D

La impresión 3D construye un objeto mediante la manufactura aditiva, las impresoras 3D utilizan el método de deposición fundida (FDM), el cual consiste en construir el objeto capa por capa de material plástico fundido superponiéndolas entre si tomando asi la forma del modelo diseñado previamente. (Palacios María, 2017)



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

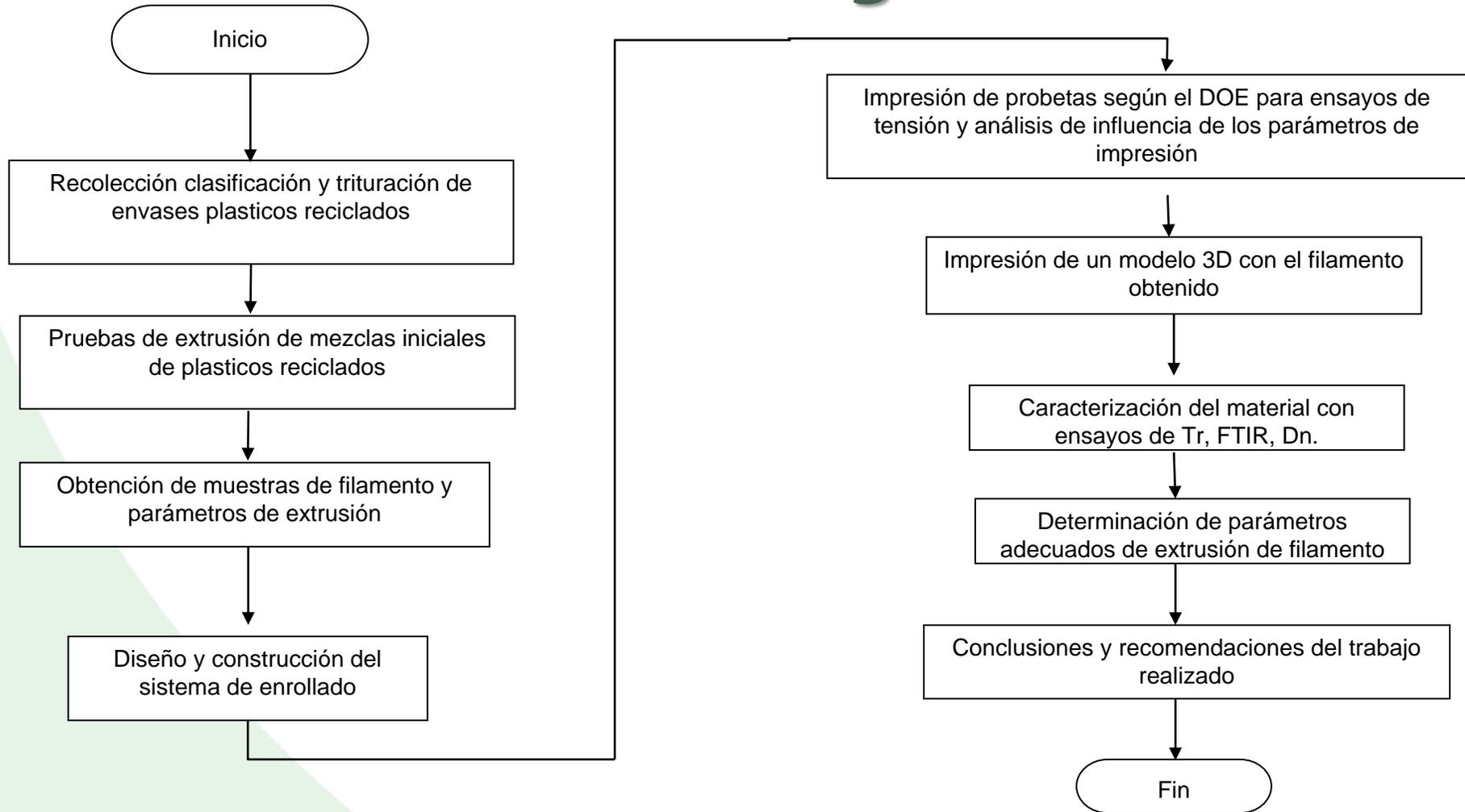
Marco teórico

Ventajas de la impresión 3D

- No requieren de mucha mano de obra con conocimiento de diferentes procesos de manufactura para producción de la pieza.
- Poder producir piezas con geometría complicadas en poco tiempo.
- Se desperdicia menos material en la fabricación.
- No se necesita más maquinas o herramientas especiales aparte de la impresora.
- Producción rápida de prototipos o modelos visuales.



Metodología



Tr: Tracción

FTIR: Espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier

DOE: Diseño de experimentos

Dn: Densidad

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Materiales

Recolección de envases plasticos

Los plasticos recolectados fueron PET obtenidos de envases de bebidas y polietileno de las tapas de estos envases, estos deben ser clasificados y lavados para eliminar impurezas

Figura 2

Reciclaje de tapas de botellas y envases PET



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

[Materiales](#)

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

[Materiales](#)

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Materiales

Trituración de plásticos

Tanto las tapas como los envases deben ser triturados para obtener la escama de PET y PE la cual será la materia prima que ingresara en la extrusora

Figura 3

Restos de tapas triturados





Obtención de filamento

Tabla 1

Materiales utilizados para obtener el filamento

| Material | Observaciones | Cantidad de mezcla | Temperatura utilizada |
|---|--|-------------------------------------|-----------------------|
| Escama de envases de botellas PET | <ul style="list-style-type: none">• El material se funde demasiado dentro de la extrusora• No se puede obtener un filamento• El material se degrada dentro de la extrusora• Taponamiento continuo de la boquilla de extrusión | 100% PET | 130°C -180°C |
| Escama de polietileno de tapas de envases | <ul style="list-style-type: none">• El material se funde y mezcla dentro de la extrusora• Se obtiene un filamento extruido• El material se empieza a degradar solo si se sobrepasa los 220°C en la extrusora | 100% Tapas de envases (Polietileno) | 140°C - 200°C |

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

[Obtención de filamento](#)

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Obtención de filamento

Tabla 2

Obtención de muestras de filamento

| Muestra de filamento | Parámetros | Observaciones |
|--|-------------------------------------|---|
|  | Temperatura 150°C Frecuencia 4HZ | Superficie rugosa Diámetro variable Filamento grueso Inadecuado para ser usado en impresión 3D |
|  | Temperatura 210°C Frecuencia 4HZ | Diámetro variable Defecto de piel de tiburón Demasiada temperatura Inadecuado para ser usado en impresión 3D |
|  | Temperatura 160°C Frecuencia 7HZ | Superficie lisa Diámetro poco variable Poco adecuado para ser usado en impresión 3D |
|  | Temperatura 180°C Frecuencia 5Hz | Superficie lisa El filamento presenta poca variación del diámetro Muestra adecuada para pruebas de impresión 3D |

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

[Obtención de filamento](#)

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Diseño

Para el dimensionamiento del sistema de enrollado se requiere conocer los parámetros de funcionamiento tales como potencia requerida, rpm en la salida para lo cual primero es necesario obtener estos datos.

El mecanismo tendrá dos usos, como sistema enrolladora para recolectar el filamento extruido y como bobina de halado en el trefilado que producirá la tensión necesaria para que el filamento pase a través del dado reduciendo su diámetro a 1,75mm.

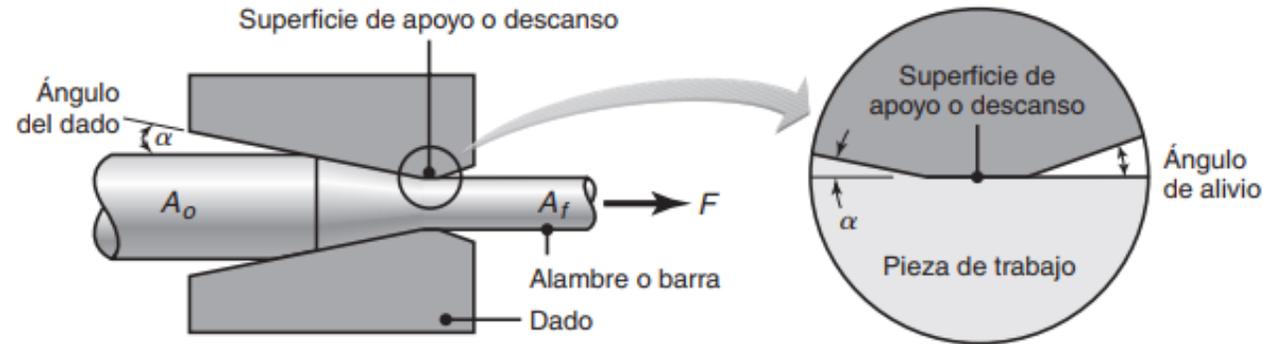


Diseño

Fuerza para el trefilado del filamento

$$F = Y_{\text{prom}} A_f \left[\left(1 + \frac{\mu}{\alpha} \right) \ln \left(\frac{A_o}{A_f} \right) + \frac{2}{3} \alpha \right] \quad (15.4)$$

en donde α es el ángulo del dado en radianes.



$$\text{Diámetro inicial } D_o = 2.56 \text{ mm}$$

$$\text{Área inicial } A_o = \frac{\pi * D_o^2}{4} = \frac{\pi * 2.56^2}{4} = 5.147 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diámetro final } D_f = 1.75 \text{ mm}$$

$$\text{Área final } A_f = \frac{\pi * D_f^2}{4} = \frac{\pi * 1.75^2}{4} = 2.405 \text{ mm}^2$$

$$\text{Coeficiente de fricción } \mu = 0.25$$

$$\text{Ángulo de entrada } 20^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} = 0.349 \text{ rad}$$

$$\sigma_{yPELD} = 30 \text{ MPa}$$

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Diseño

$$F = \sigma_{yPP} * A_f * \left[\left(1 - \frac{\mu}{\alpha}\right) * \ln \left(\frac{A_o}{A_f}\right) + \frac{2}{3} \alpha \right]$$

$$F = 30 \text{ MPa} * 2.405 \text{ mm}^2 * \left[\left(1 - \frac{0.25}{0.349}\right) * \ln \left(\frac{5.147 \text{ mm}^2}{2.405 \text{ mm}^2}\right) + \frac{2}{3} * 0.349 \right] = 32.37 \text{ N}$$

Draft

$$\text{Draft} = D_o - D_f$$

$$\text{Draft} = 2.56 \text{ mm} - 1.75 \text{ mm} = 0.81 \text{ mm}$$

Porcentaje de reducción de área

$$\%R = \frac{D_o^2 - D_f^2}{D_o^2} * 100$$

$$\%R = \frac{2.56^2 - 1.75^2}{2.56^2} * 100 = 53.27 \%$$



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Diseño

Velocidad de filamento extruido

$$v = 0.018 \frac{m}{s}$$

Diámetro del carrete

$$D_{carrete} = 0.094m$$

Velocidad angular del carrete

$$W_{carrete} = \frac{2 * v * 60 * 1.2}{D_{carrete} * 2\pi} = \frac{2 * 0.018 \frac{m}{s} * 60 * 1.2}{0.094m * 2\pi} = 4.41 \text{ rpm}$$



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Diseño

Torque de salida necesario

El par de torsión que se requiere en el carrete que almacena el filamento esta dado por la fuerza del trefilado necesario y el diámetro del carrete.

$$T_{carrete} = 32.37 N * \frac{0.094m}{2} = 1.51 Nm$$

$$T_{carrete} = F * \frac{D_{carrete}}{2}$$

Potencia de salida

$$Pot_{salida} = \frac{T_{carrete}}{W_{carrete}}$$

$$Pot_{salida} = \frac{1.51 Nm * 2\pi}{4.41rpm * 60} = 0.69 W$$



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Diseño

Simulación del conveyor análisis modal sin refuerzo

El movimiento será producido por un motor eléctrico el cual sea capaz de satisfacer con la potencia necesaria para la reducción mecánica del sistema de enrollado, se optó por un motor eléctrico DC de 12W

| Especificaciones del motor | |
|----------------------------|---------|
| Corriente | 1.5 A |
| Voltaje | 12 V |
| Velocidad | 110 rpm |
| Torque | 1.65 Nm |

Figura 4

Motor eleva lunas





Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Diseño

Diseño del tren de engranajes

$$Potencia = 12 w \approx 0.016hp$$

$$Velocidad = 110rpm$$

Tabla 3

Pasos diametrales adecuados para engranajes con ángulo de presión de 20°

| Potencia | rpm del piñón | | | | | |
|----------|---------------|-----|-----|-----|-----|------|
| hp | 50 | 100 | 300 | 600 | 900 | 1200 |
| 0.05 | 20 | 20 | 24 | 32 | 32 | 32 |
| 0.10 | 16 | 20 | 20 | 24 | 24 | 24 |

$$Pd = 20$$

$$m = \frac{25.4}{Pd} = \frac{25.4}{20} = 1.27m$$

Tabla 4

Módulos métricos estandarizados

| | |
|------|---|
| 1 | 4 |
| 1.25 | 5 |
| 1.5 | 6 |
| 2 | 8 |

Se selecciona el módulo superior mas cercano

Tomado de: Máquinas y mecanismos Myszka

$$m = 1.5mm$$



Diseño

Relación de transmisión de la caja reductora

$$R_{caja} = \frac{W_{carrete}}{W_{motor}} = \frac{4.41 \text{ rpm}}{110 \text{ rpm}} = 0.04$$

$$R_{caja} = \frac{4.41 \text{ rpm}}{110 \text{ rpm}} = 0.04$$

Para evitar que se produzca interferencia se selecciona de la tabla 5 una combinación de piñón y engranaje dentro del rango que indica, estos con un ángulo de presión de 20°.

TABLA 10.4 Combinaciones de dientes de engrane para eliminar la interferencia

| $\phi = 14^\circ$ | | $\phi = 20^\circ$ | |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Número de dientes del piñón | Número máximo de dientes del engrane | Número de dientes del piñón | Número máximo de dientes del engrane |
| < 23 | Interferencia | < 13 | Interferencia |
| 23 | 26 | 13 | 16 |
| 24 | 32 | 14 | 26 |
| 25 | 40 | 15 | 45 |
| 26 | 51 | 16 | 101 |
| 27 | 67 | 17 | 1309 |
| 28 | 92 | 18 | ∞ |

Tabla 5
Combinación de dientes para eliminar interferencia

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Diseño

Se prueban combinaciones de dientes hasta obtener la relación de la caja reductora calculada anteriormente obteniendo lo siguiente:

$$R_{caja} = \frac{16}{36} * \frac{18}{46} * \frac{18}{78} = 0.04$$

Tabla 6

Resumen de engranajes seleccionados y las rpm a las que trabajan

| Engranaje | Dientes | RPM |
|-----------|---------|--------|
| Z1 | 78 | 4,41 |
| Z2 | 18 | 19,13 |
| Z3 | 46 | 19,13 |
| Z4 | 18 | 48,89 |
| Z5 | 36 | 48,89 |
| Z6 | 16 | 110,00 |

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Diseño

Tabla 7

Calidad de los engranajes según la AGMA

TABLA 9-2 Números de calidad AGMA recomendados

| Aplicación | Número de calidad | Aplicación | Número de calidad |
|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|
| Accionamiento de tambor | | | |
| mezclador de cemento | 3-5 | Taladro pequeño | 7-9 |
| Horno de cemento | 5-6 | Lavadora de ropa | 8-10 |
| Impulsores de laminadoras de acero | 5-6 | Prensa de impresión | 9-11 |
| Cosechadora de granos | 5-7 | Mecanismo de cómputo | 10-11 |
| Grúas | 5-7 | Transmisión automotriz | 10-11 |
| Prensas de punzonado | 5-7 | Accionamiento de antena de radar | 10-12 |
| Transportador de mina | 5-7 | Accionamiento de propulsión marina | 10-12 |

Calidad seleccionada 6, impulsoras de laminadora

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Factor de geometría

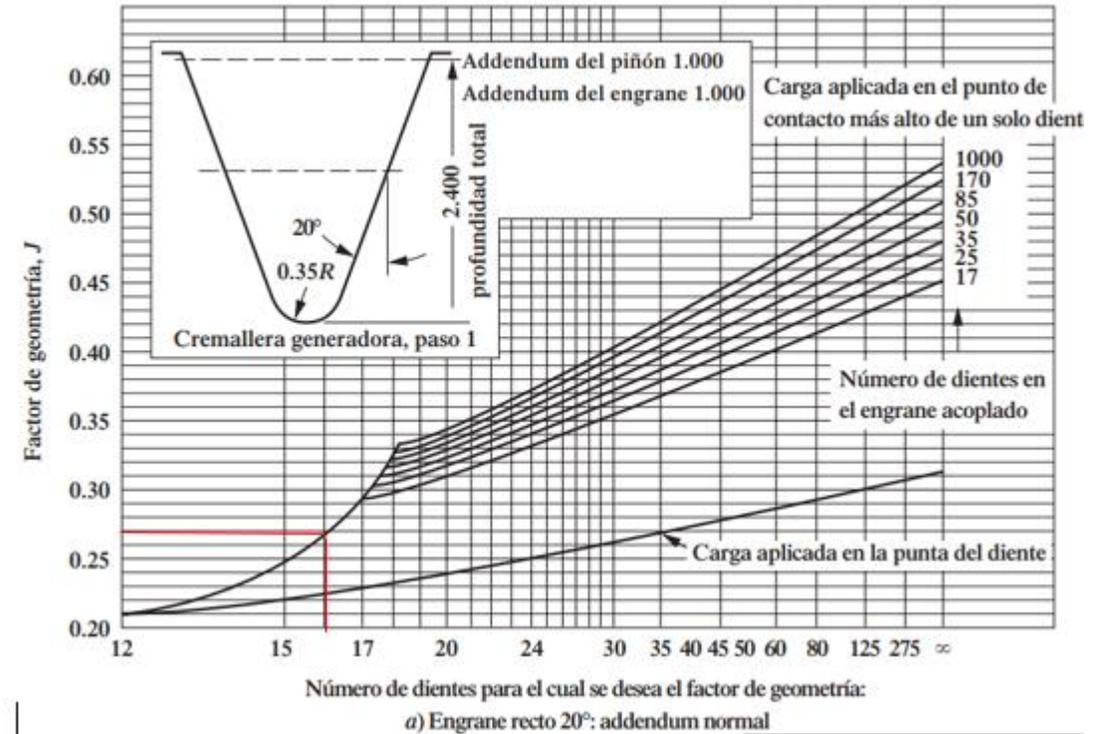
Para los engranes Z6 con 16
dientes y Z5 36

Para el engranaje Z6 se obtuvo
el valor de:

Diseño

Figura 5

Gráfica para obtener el factor de geometría



$$J = 0.27$$



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Diseño

Factor de sobrecarga K_o

Uniformes: Motor eléctrico o turbina de gas a velocidad constante

Choque ligero: Turbina hidráulica e impulsor de velocidad variable

Choque moderado: Motor multicilíndrico

Tabla 8

Factores de sobrecarga

TABLA 9-5 Factores de sobrecarga sugeridos, K_o

| Fuente de potencia | Máquina impulsada | | | |
|--------------------|-------------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Uniforme | Choque ligero | Choque moderado | Choque pesado |
| Uniforme | 1.00 | <u>1.25</u> | 1.50 | 1.75 |
| Choque ligero | 1.20 | 1.40 | 1.75 | 2.25 |
| Choque moderado | 1.30 | 1.70 | 2.00 | 2.75 |

$$K_o = 1.25$$



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Diseño

Factor de tamaño

El módulo seleccionado de los engranajes es 1.5mm se selecciona un factor de tamaño de:

Tabla 9

Factor de tamaño

TABLA 9-6 Factores de tamaño sugeridos, K_s

| Paso diametral, P_d | Módulo métrico, m | Factor de tamaño, K_s |
|--------------------------|------------------------|--|
| ≥ 5 | ≤ 5 | 1.00 |
| 4 | 6 | 1.05 |
| 3 | 8 | 1.15 |
| 2 | 12 | 1.25 |
| 1.25 | 20 | 1.40 |

$$K_s = 1$$



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Diseño

Factor de confiabilidad

Tabla 10

Factor de confiabilidad

TABLA 9-8 Factor de confiabilidad, K_R

| Confiabilidad | K_R |
|-------------------------------|-------|
| 0.90, una falla en 10 | 0.85 |
| <u>0.99, una falla en 100</u> | 1.00 |
| 0.999, una falla en 1000 | 1.25 |
| 0.9999, una falla en 10 000 | 1.50 |

Se selecciona una confiabilidad de que presente una falla en 100, con una de 0.99 se obtiene el factor de:

$$K_R = 1$$



Diseño

Factor de distribución de carga

El factor será calculado mediante la siguiente ecuación

$$K_m = 1.0 + C_{pf} + C_{ma}$$

Donde:

C_{pf} : Factor de proporción del piñón

C_{ma} : Factor por alineamiento de engranado

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

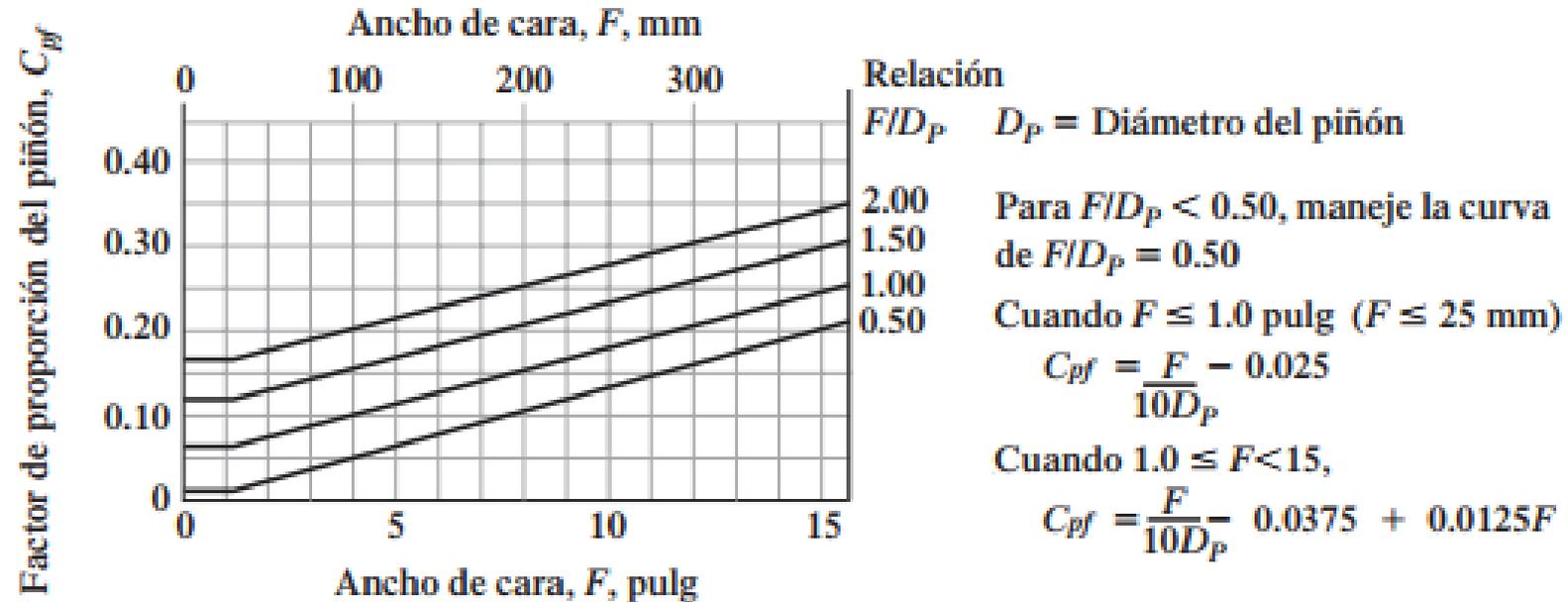
Recomendaciones



Diseño

Figura 6

Gráfica para obtener factor C_{pf} de distribución de carga



El ancho de cara de cara del piñón 19mm es < 25 mm se utiliza la ecuación:

$$C_{pf} = \frac{F}{10D_p} - 0.025$$

$$C_{pf} = \frac{19}{10 * 24} - 0.025 = 0.054$$

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

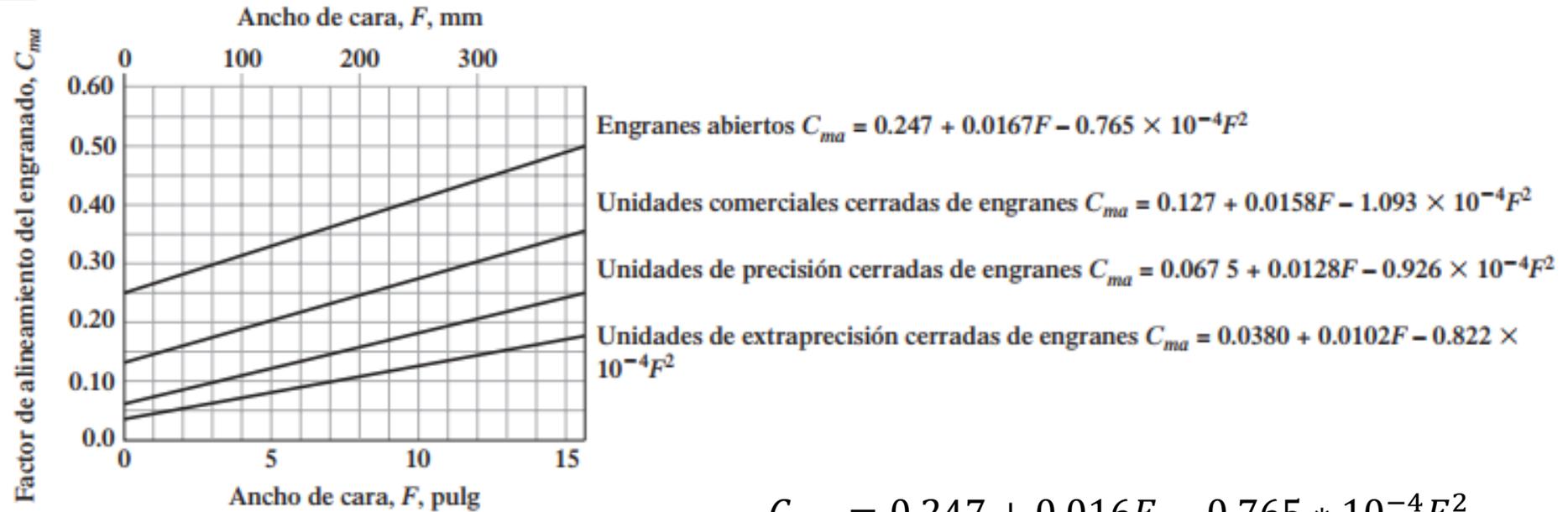
Recomendaciones



Diseño

Figura 7

Gráfica para obtener factor C_{ma} de distribución de carga



$$C_{ma} = 0.247 + 0.016F - 0.765 \times 10^{-4}F^2$$

$$C_{ma} = 0.247 + 0.016 * 19 - 0.765 * 10^{-4}(19)^2 = 0.48$$

$$K_m = 1.0 + 0.054 + 0.48 = 1.53$$

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

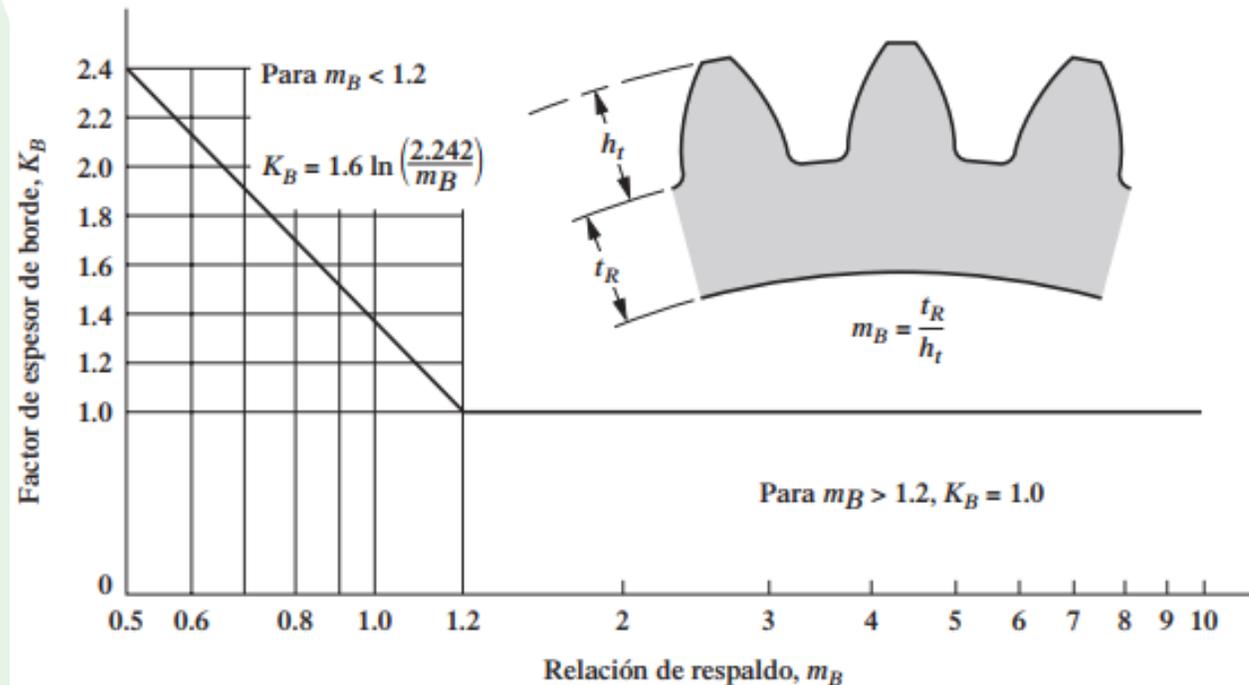
Conclusiones

Recomendaciones

Factor de espesor de orilla

Figura 8

Gráfica para obtener factor de espesor de orilla



$$m_B = \frac{3,5}{3,375} = 1,057$$

$$K_B = 1,6 * \ln \left(\frac{2,242}{m_B} \right)$$

$$K_B = 1,6 * \ln \left(\frac{2,242}{1,057} \right) = 1,20$$

Se considera un espesor de orilla de 3,5mm de las paredes del engrane antes del relleno de la impresión

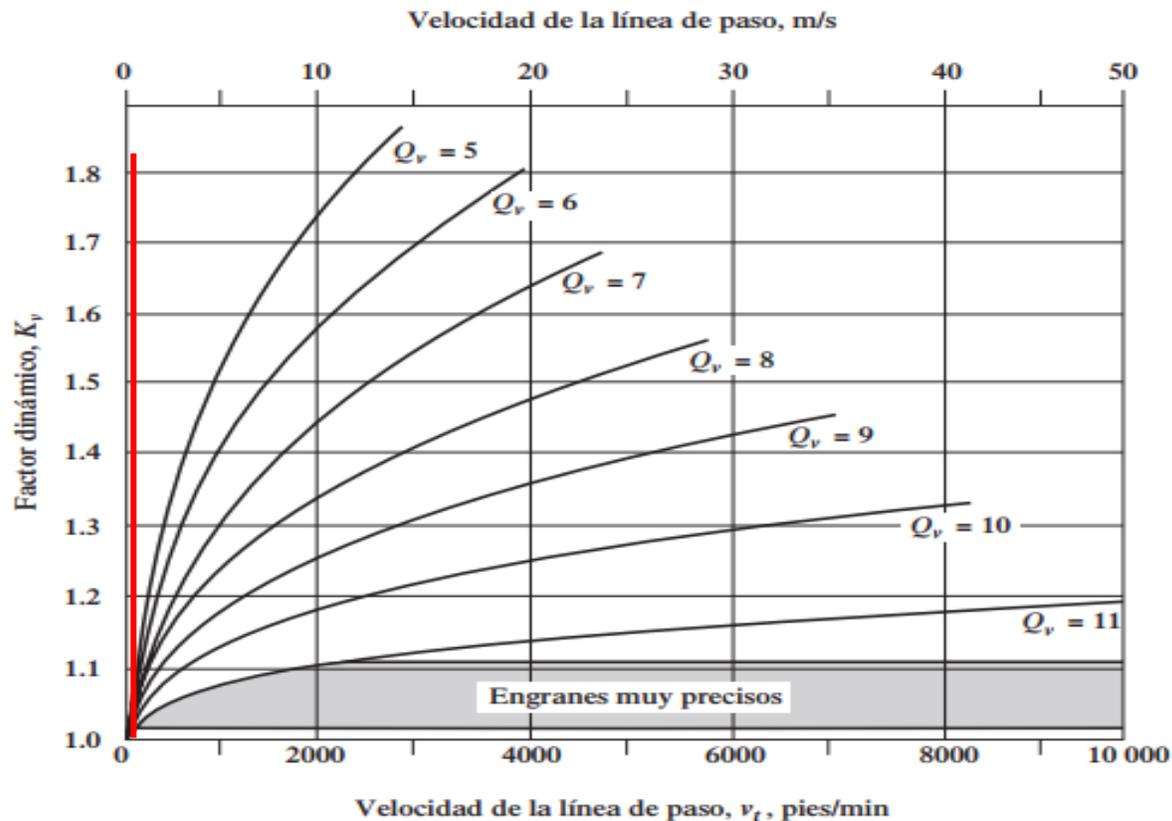


Diseño

Factor dinámico

Figura 9

Gráfica para obtener factor dinámico



Velocidad en la línea de paso

para el piñón Z6

$$V = 0.138 \frac{m}{s}$$

Calidad del engranaje 6

$$K_v = 1$$

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Diseño

Esfuerzo en el piñón

Factor de seguridad adicional $S_f = 1.25$

$$S_t = \frac{W_t}{m * F * J} * K_o * K_s * K_m * K_B * K_v * S_f$$

$$S_t = \frac{5.06N}{1.5m * 0.27} * 1.25 * 1 * 1.53 * 1.1 * 1 * 1.25 = 1.736 MPa$$

Factor de seguridad

Esfuerzo de flexión para PLA impreso $\sigma_{PLA} = 30 MPa$

Factor de seguridad calculado

$$Factor\ seguridad = \frac{\sigma_{PLA}}{S_t}$$

$$Factor\ seguridad = \frac{30 MPa}{1.736 MPa} = 17.28$$



Diseño

Tabla 11

Parámetros de los engranajes

| Engranaje | Modulo mm | RPM | Dientes | Diámetro primitivo mm | Fuerza tangencial N | Velocidad tangencial m/s | Ancho de cara B mm |
|-----------|--------------|--------|---------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Z1 | 1,5 | 4,41 | 78 | 117 | 25,89 | 0,027 | 15 |
| Z2 | 1,5 | 19,13 | 18 | 27 | 25,89 | 0,027 | 19 |
| Z3 | 1,5 | 19,13 | 46 | 69 | 10,13 | 0,069 | 15 |
| Z4 | 1,5 | 48,89 | 18 | 27 | 10,13 | 0,069 | 19 |
| Z5 | 1,5 | 48,89 | 36 | 54 | 5,067 | 0,138 | 15 |
| Z6 | 1,5 | 110,00 | 16 | 24 | 5,067 | 0,138 | 19 |

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Diseño

Tabla 12

Factores de diseño de engranajes

| Engranaje | K_o | K_v | K_s | C_{fp} | C_{ma} | K_m | K_B | St MPa | Y_n MPa | SF | $\sigma_B =$ $\frac{St}{SF}$ MPa | $\sigma_{PLA 50\%}$ MPa | Factor de seguridad calculado |
|-----------|-------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|-------------|--------------|------|--|----------------------------|-------------------------------------|
| Z1 | 1,25 | 1 | 1 | 0,045 | 0,480 | 1,526 | 1,1 | 5,818 | 5,818 | 1,25 | 7,272 | 30 | 4,13 |
| Z2 | 1,25 | 1 | 1 | 0,045 | 0,480 | 1,526 | 1,1 | 5,957 | 5,957 | 1,25 | 7,446 | 30 | 4,03 |
| Z3 | 1,25 | 1 | 1 | 0,045 | 0,480 | 1,526 | 1,1 | 2,422 | 2,422 | 1,25 | 3,028 | 30 | 9,91 |
| Z4 | 1,25 | 1 | 1 | 0,045 | 0,480 | 1,526 | 1,1 | 2,368 | 2,368 | 1,25 | 2,960 | 30 | 10,14 |
| Z5 | 1,25 | 1 | 1 | 0,054 | 0,480 | 1,534 | 1,1 | 1,320 | 1,320 | 1,25 | 1,650 | 30 | 18,19 |
| Z6 | 1,25 | 1 | 1 | 0,054 | 0,480 | 1,534 | 1,1 | 1,389 | 1,389 | 1,25 | 1,736 | 30 | 17,28 |

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

[Diseño](#)

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

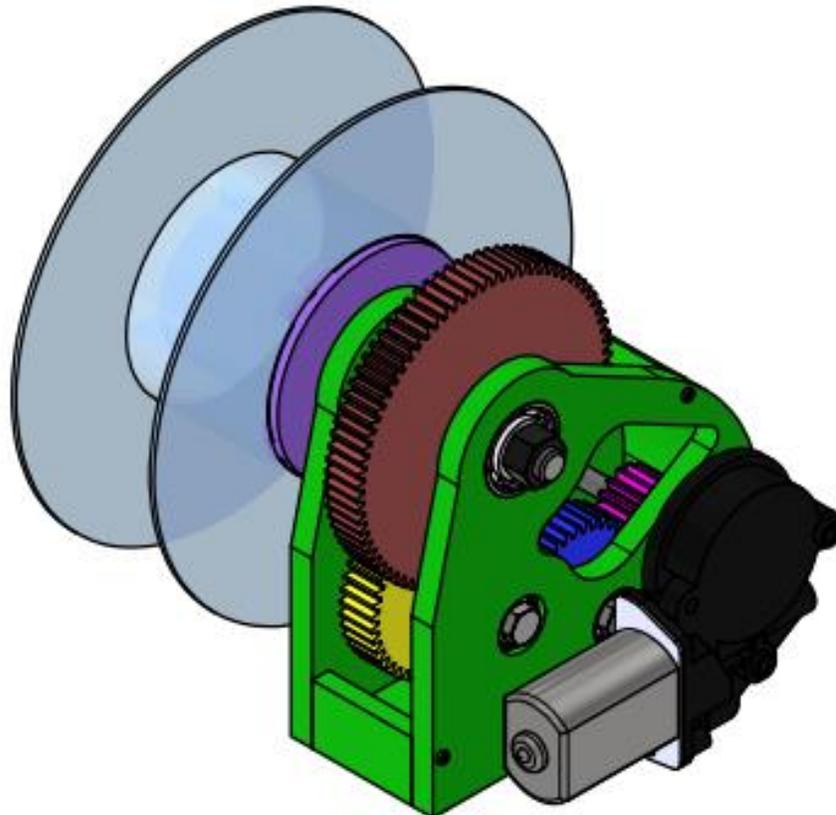
Recomendaciones



Diseño

Figura 10

Diseño CAD del sistema de enrollado, Impresión 3D y ensamblaje de componentes del sistema de enrollado



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Impresión de modelo

A partir de las muestras de filamento obtenido, evaluó si se puede producir un objeto impreso en 3D con este material, para lo cual se diseña un modelo sencillo con el cual se buscara tambien los parámetros de impresión

Figura 11

Modelo CAD para impresión

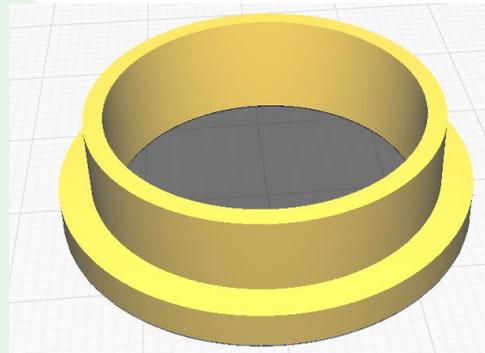


Tabla 13

Parámetros de impresión de filamento comercial

| Parámetro | Valor |
|-------------------------|---------------|
| Temperatura de extrusor | (175- 215) °C |
| Temperatura de la cama | (60-100) °C |
| Velocidad de impresión | 50 mm/s |
| Flujo | 100% |

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

[Impresión de modelo](#)

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Impresión de modelo

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

[Impresión de modelo](#)

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Figura 12

Laminado de modelo STL previamente diseñado

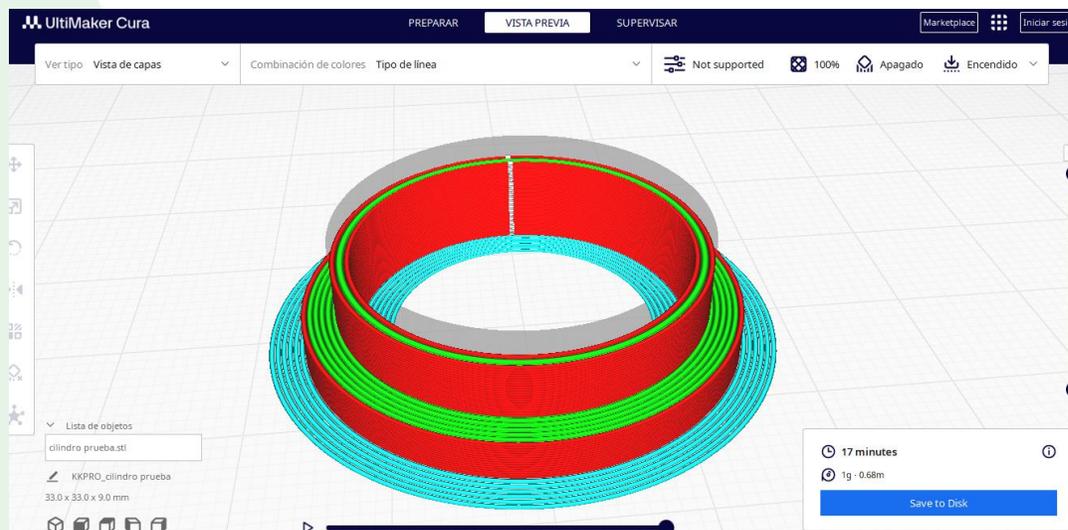


Figura 13

Modelo impreso con el filamento de material reciclado





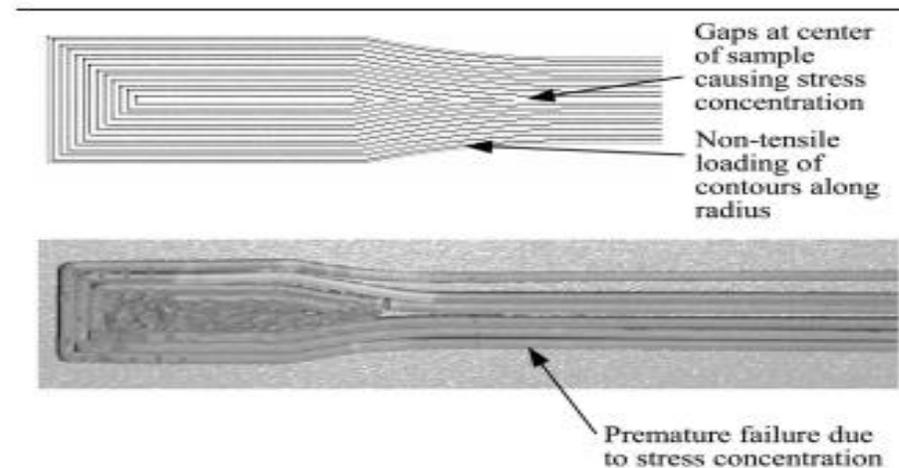
DOE

Ensayo de tracción

Se diseñan las probetas para los ensayos a tracción con base en la norma ASTM D638, la forma tradicional de la probeta propuesta en esta norma debido al proceso de fabricación de las probetas realizado con impresión 3D, provoca una falla prematura por delaminación de las capas debido a la concentración de esfuerzos producida en los cambios de sección transversal como se observa en la figura 29, por lo cual las probetas serán con forma rectangular con dimensiones de 200mm de largo, 25.4mm de ancho y 3.2mm de espesor.

Figura 14

Falla prematura de probetas impresas en 3D con la forma convencional



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

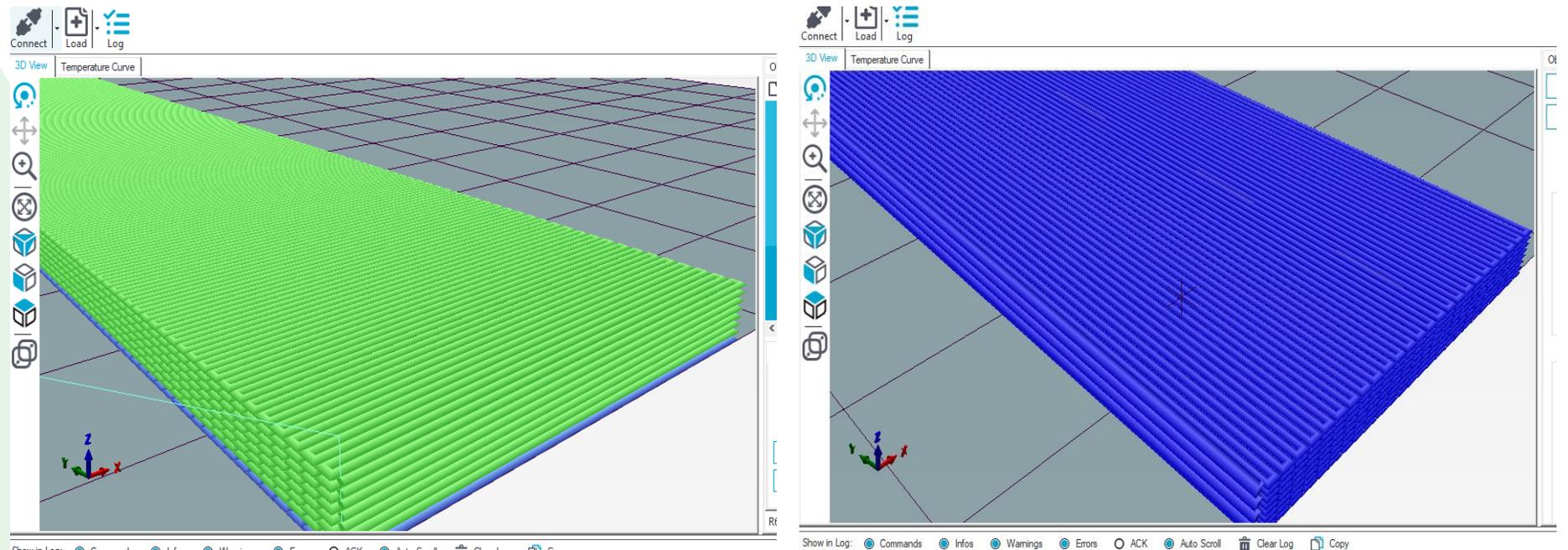


DOE

El código G para la fabricación de las probetas se elaboro utilizando FULLControl Gcode Designer, un software libre creado por Andrew Gleadall. Las probetas deben tener todas sus fibras de construcción en una sola orientación sea paralela o perpendicular

Figura 15

Orientación de las fibras paralelas o transversales para la impresión de las probetas



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

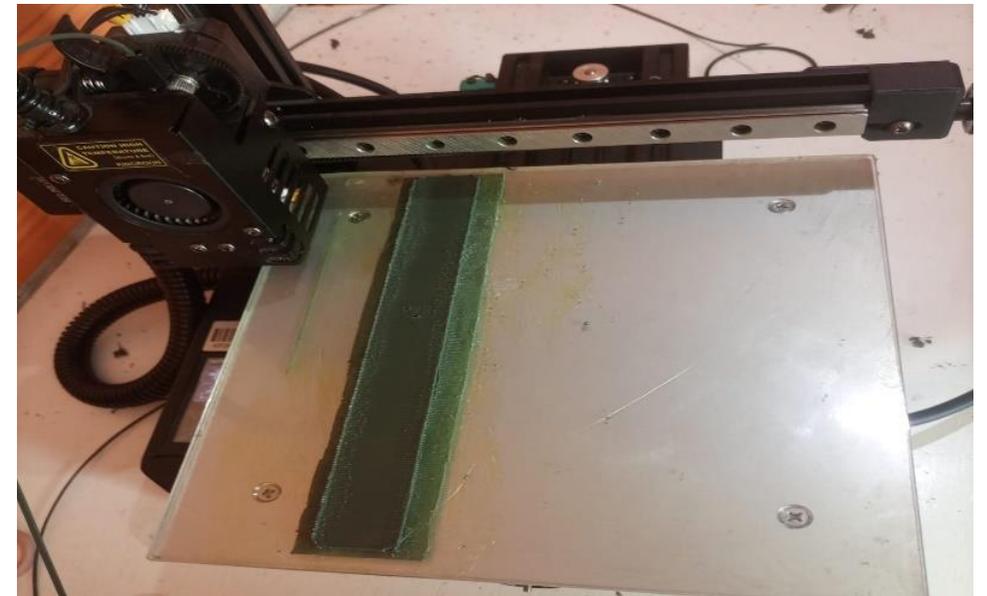
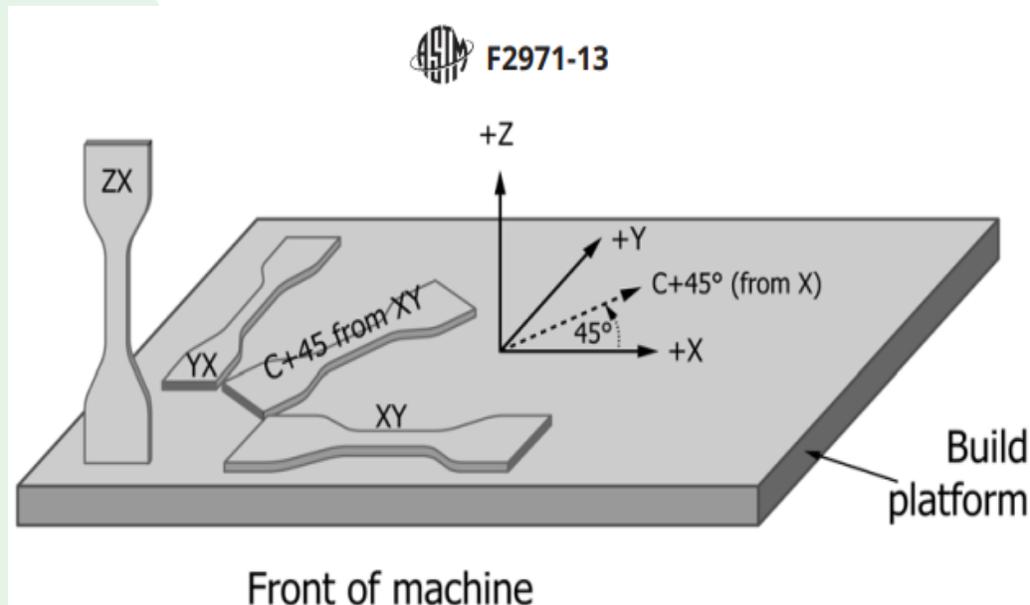


DOE

Las probetas fueron impresas utilizando una impresora Kingroon Kp3s pro, y los ángulos de impresión de 0° , 45° y 90° en el plano X-Y de la cama de la impresora como lo especifica la norma ASTM F2971-13, no se realizaron probetas en el sentido ZX como lo muestra la figura 32, debido a la complejidad que presenta este nuevo material obtenido del reciclaje y procesamiento de tapas plásticas de polietileno y por la tendencia a deformarse por el enfriamiento de esta.

Figura 16

Impresión 3D de las probetas para ensayos de tensión



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

DOE

Un diseño de experimentos DOE es una herramienta importante en una investigación, permite plantear los pasos a seguir en la toma de datos de determinadas variables de un producto o proceso, las cuales serán analizadas, las aplicaciones mas comunes de un DOE son:

- Establecer relaciones de causa efecto entre variables de entrada y salida
- Identificar parámetros que influyen mas en el proceso
- Obtener un modelo algebraico para predecir un resultado con varios factores



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

DOE

El DOE se enfocó en analizar como influye en las probetas impresas el sentido de orientación de la fibra siendo paralelo o perpendicular al largo de la probeta, y el ángulo de orientación de impresión respecto del eje x de la impresora al esfuerzo que estas pueden resistir hasta que la probeta falla y comienza a deformarse permanente mente en la zona de fluencia.



DOE

Los ensayos de tensión de las probetas fueron realizados en la máquina de ensayos universales INSTRON 8801, con la cual se obtuvo los valores de deformación que experimentaban las probetas al ser sometidas a una carga, los parámetros de la maquina fueron

Tabla 14

Parámetros de ensayo de tensión

| Parámetros | Valor |
|---------------------------|----------|
| Velocidad | 20mm/min |
| Distancia entre mordazas | 100 mm |
| Longitud máxima de ensayo | 60mm |
| Unidad de fuerza | N |

Figura 17

*Máquina de ensayos universales
INSTRON 8801*



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



DOE

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Tabla 15
*Combinación de condiciones
para la realización del DOE*

| OrdenCorrida | Ángulo ° | Sentido | Esfuerzo MPa |
|--------------|----------|-------------|--------------|
| 1 | 0 | Paralelo | 17,55 |
| 2 | 0 | Transversal | 7,45 |
| 3 | 45 | Paralelo | 18,33 |
| 4 | 45 | Transversal | 2,2 |
| 5 | 90 | Paralelo | 17,36 |
| 6 | 90 | Transversal | 7,2 |
| 7 | 0 | Paralelo | 14,71 |
| 8 | 0 | Transversal | 8,34 |
| 9 | 45 | Paralelo | 17,75 |
| 10 | 45 | Transversal | 4,23 |
| 11 | 90 | Paralelo | 10,65 |
| 12 | 90 | Transversal | 8,49 |
| 13 | 0 | Paralelo | 16,56 |
| 14 | 0 | Transversal | 3,13 |
| 15 | 45 | Paralelo | 15,46 |
| 16 | 45 | Transversal | 4,11 |
| 17 | 90 | Paralelo | 18,68 |
| 18 | 90 | Transversal | 10,55 |



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

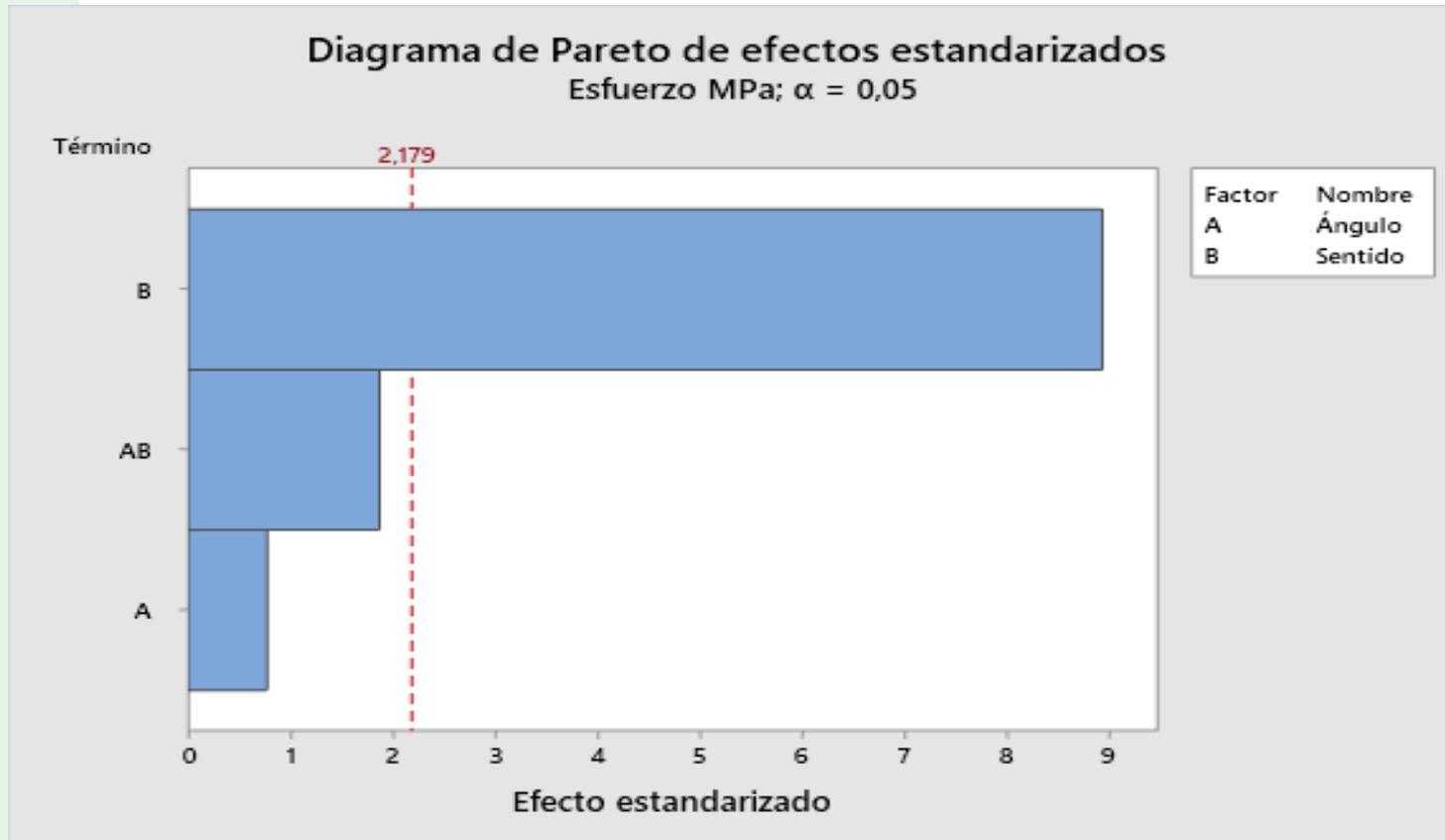
Conclusiones

Recomendaciones

DOE

Figura 18

Diagrama de relevancia de los parámetros



En la gráfica se observa como el parámetro que tiene mayor relevancia en el esfuerzo que soportan las probetas es el sentido de orientación de la fibra.



Probetas con fibra paralela

Las probetas que fueron impresas con sentido de las fibras paralelo a la longitud de estas presentan un comportamiento normal en los plasticos dúctiles en los cuales se puede observar que en cierta zona el material posee una zona elástica seguido de una zona plástica con una gran deformación

Figura 19

Falla de probeta con fibras en sentido paralelo



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



ECUADOR

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

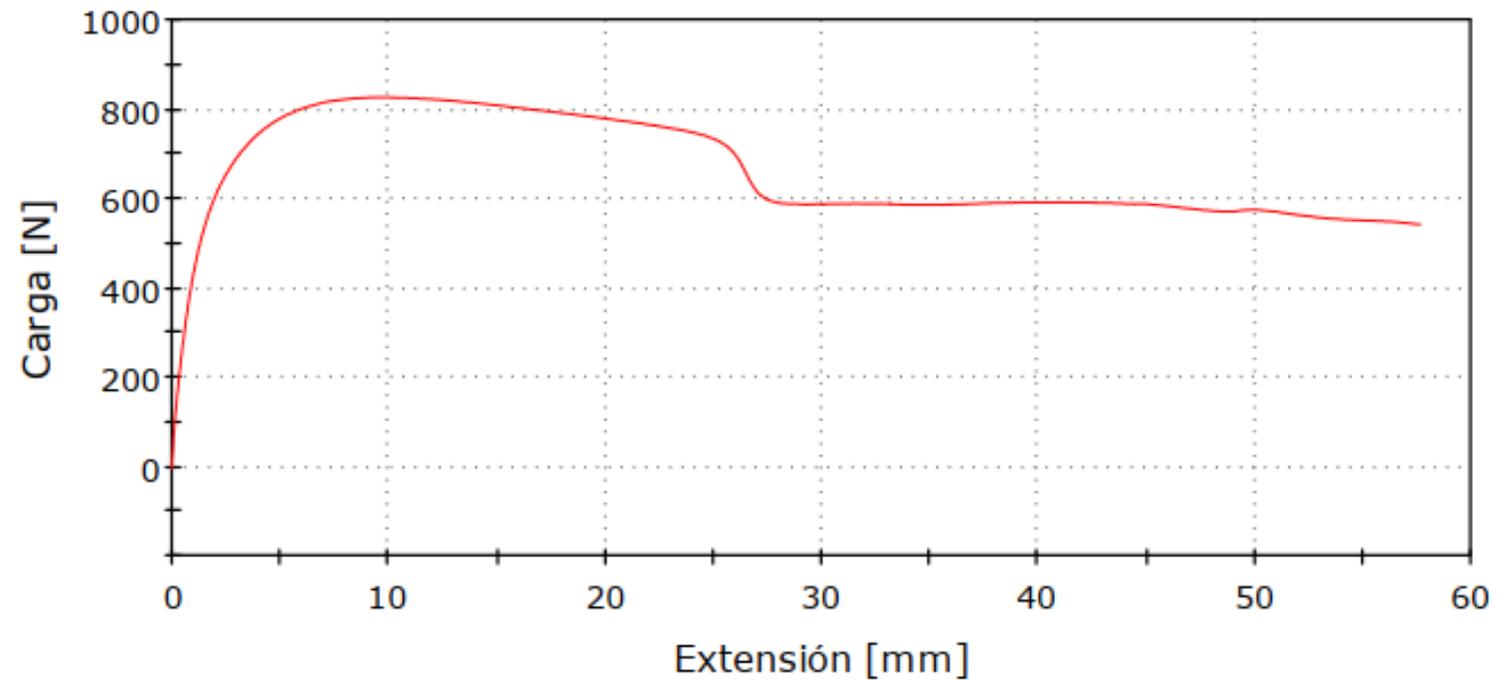
Recomendaciones

DOE

Figura 20

Diagrama esfuerzo deformación de la probeta N°2

DIAGRAMA FUERZA VS DESPLAZAMIENTO





Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

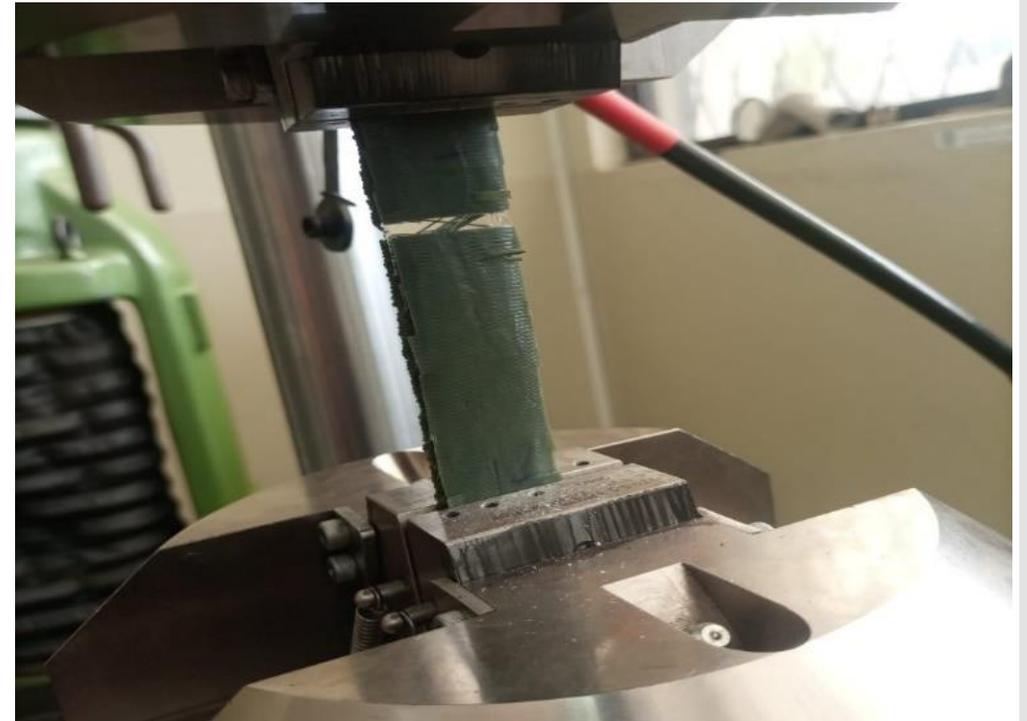
Recomendaciones

DOE

Las probetas impresas con las fibras en sentido transversal fallan por delaminación como se observa en la figura 37, al despegarse las fibras unas de otras, produciendo una rotura de la probeta sin que las fibras lleguen a estirarse de forma plástica.

Figura 21

Falla de probeta con fibras en sentido transversal



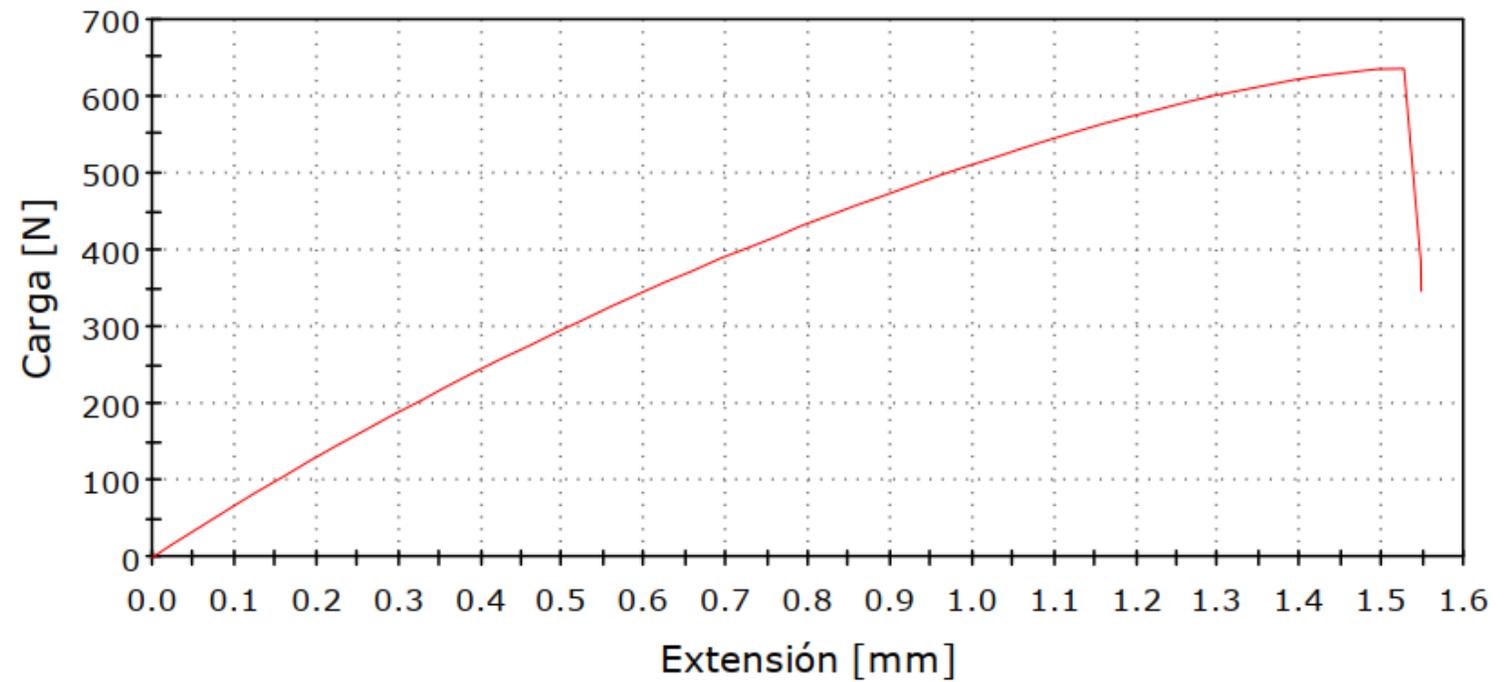


DOE

Figura 22

Diagrama fuerza vs desplazamiento, probeta N° 17

DIAGRAMA FUERZA VS DESPLAZAMIENTO



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

[DOE](#)

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Caracterización del material

Ensayo de tracción del filamento

Para la obtención de las propiedades mecánicas se utilizó la máquina de tracción horizontal la permite obtener datos de fuerza y deformación hasta que el material sufra una rotura completa

Figura 23

Máquina de tracción horizontal



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

[Caracterización](#)

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Caracterización del material

Tabla 16

Muestras de filamento ensayado

| Ensayo de tensión en muestras de filamento | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|----------------------------|--|-------------------------------------|
| Muestra | Diámetro 1 mm | Diámetro 2 mm | Diámetro 3 mm | Diámetro promedio mm | Área transversal mm ² | Longitud entre mordazas mm |
| 1 | 1,95 | 1,99 | 1,95 | 1,963 | 3,027 | 100 |
| 2 | 1,78 | 1,96 | 1,97 | 1,903 | 2,845 | 100 |
| 3 | 2,3 | 2,4 | 2,29 | 2,330 | 4,264 | 100 |

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

[Caracterización](#)

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Caracterización del material

Figura 24

Diagrama esfuerzo deformación del filamento 1

Esfuerzo - Deformación unitaria



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

[Caracterización](#)

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Caracterización del material

Tabla 17

Propiedades mecánicas obtenidas

| | |
|------------------------------|----------------------------|
| Esfuerzo de fluencia al 0.2% | 141 Kg/cm ² |
| Esfuerzo máximo | 200,719 Kg/cm ² |
| Deformación unitaria | 7,632 mm/mm |
| Esfuerzo ultimo | 90,73 Kg/ cm ² |

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

[Caracterización](#)

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Caracterización del material

Tabla 18

Resumen de propiedades mecánicas del filamento y promedios de muestras

| N° Muestra | Esfuerzo de fluencia MPa | Esfuerzo máximo MPa | Esfuerzo ultimo MPa | Deformación unitaria mm/mm |
|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| Filamento 1 | 13,8 | 19,7 | 8,9 | 7,632 |
| Filamento 2 | 11,8 | 20,9 | 9,5 | 7,632 |
| Filamento 3 | 18,3 | 20,2 | - | 0,679 |
| Promedio | 14,6 | 20,3 | 9,2 | 5,3 |
| Desviación estándar | 3,36 | 0,59 | 0,40 | 4,01 |

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

[Caracterización](#)

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

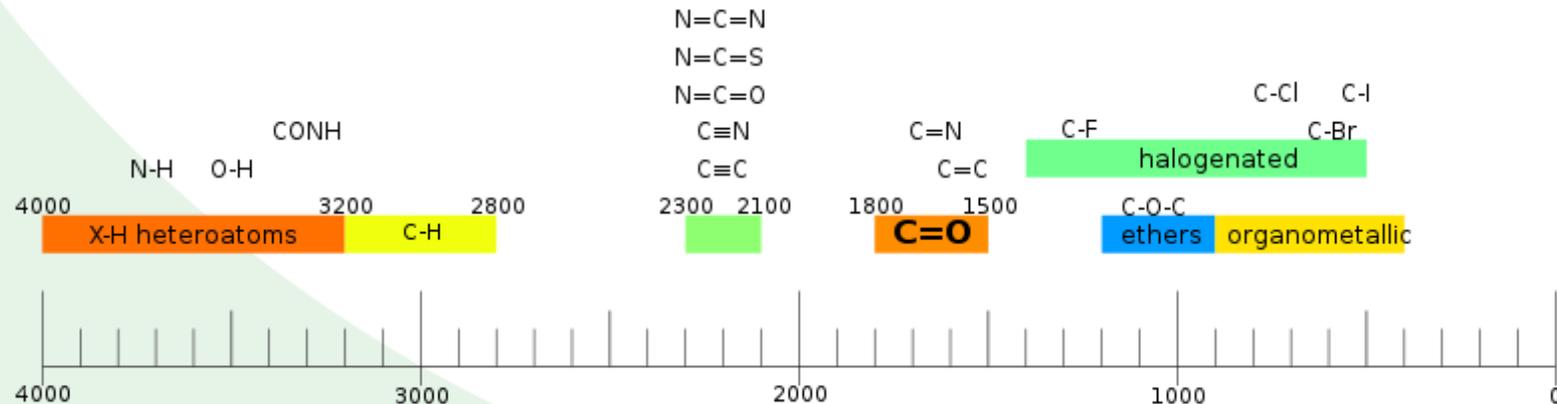


Caracterización del material

FTIR

La espectroscopia por transformada de Fourier infrarroja consiste en aplicar a una muestra radiación infrarroja la cual al atravesarla parte de ella es absorbida, la radiación que logra atravesar la muestra es analizada en el detector y muestra el espectrómetro la cual es la huella digital molecular del materia, la cantidad de luz que absorbe la muestra se registra entre un rango de longitud de onda de 4000 cm^{-1} y 400 cm^{-1} . (Velandia Javier, 2017)

Figura 26
Enlaces químicos y longitud de onda



- Introducción
- Definición del problema
- Justificación
- Alcance
- Objetivos
- Metodología
- Materiales
- Obtención de filamento
- Diseño
- Impresión de modelo
- DOE
- Caracterización**
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones

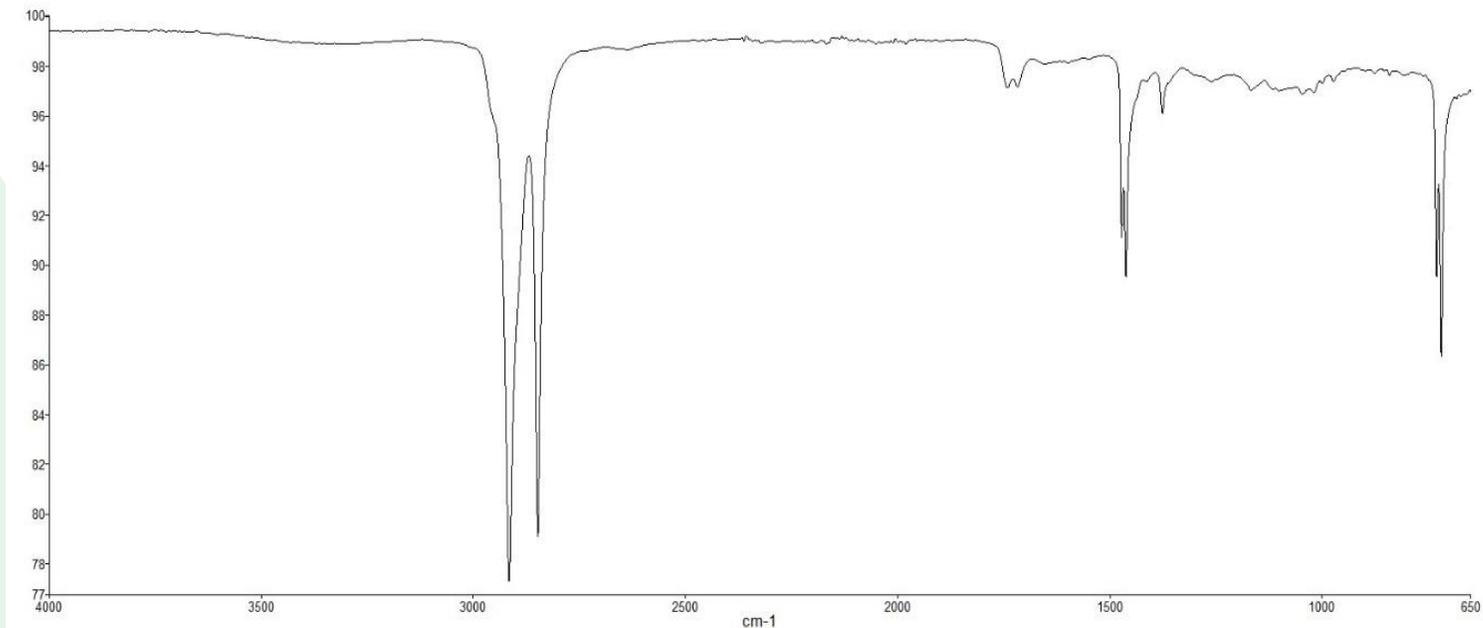


Caracterización del material

Al realizar el ensayo FTIR a las muestras del material reciclado sin procesar y el filamento obtenido después de fundir y extruir el material, se comparó el espectro obtenido con una base de datos y se encontró que el espectro en ambos casos se asemeja más al estándar del polietileno de baja densidad (PELD)

Figura 27

FTIR estándar del PELD



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

[Caracterización](#)

Análisis de resultados

Conclusiones

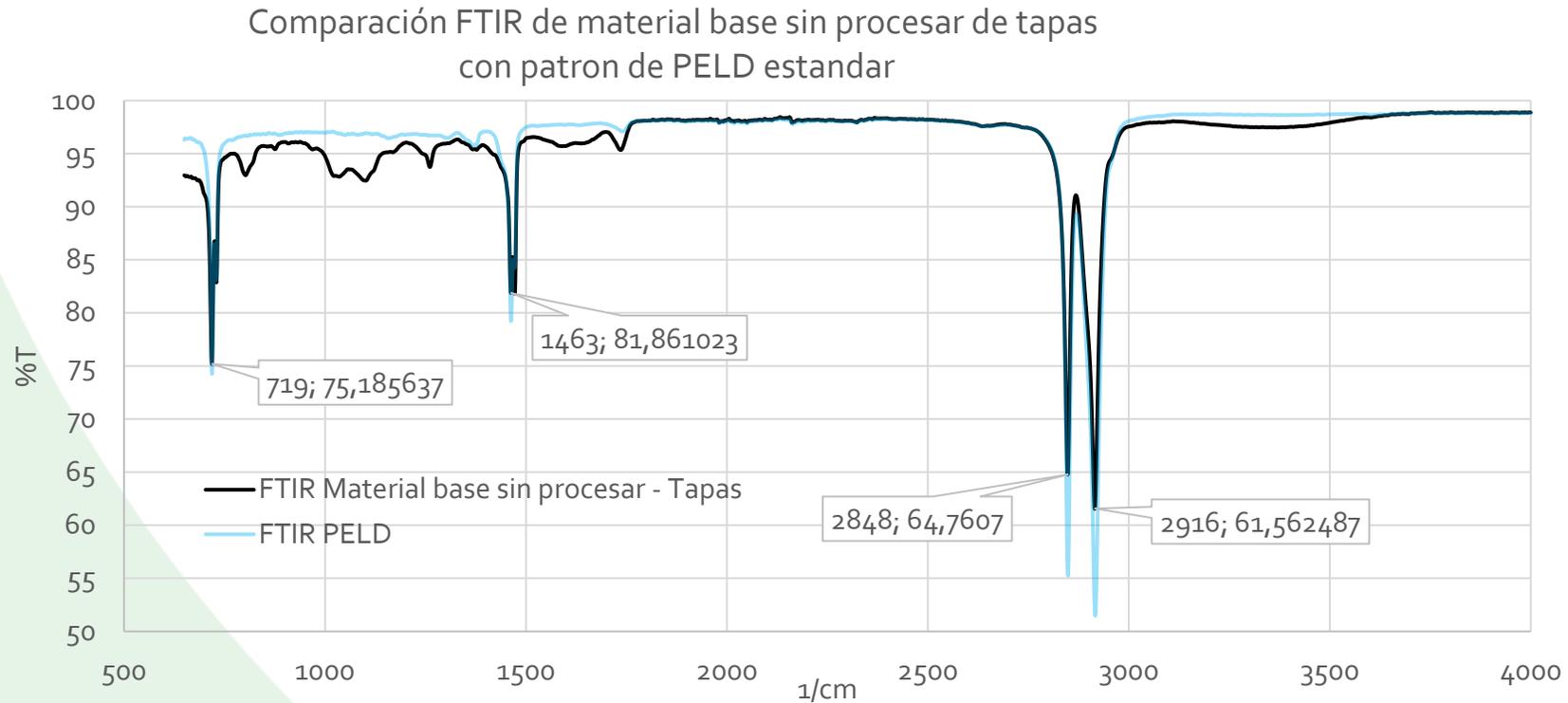
Recomendaciones



Caracterización del material

Figura 28

Espectrómetro del material base y el patrón estándar de polietileno



Nota: Se identifican tres bandas que corresponden a los movimientos de tensión de los enlaces C-H a 2848 cm⁻¹ con una transmitancia del 64.76%, C-C 1463 cm⁻¹ y 81.86% de transmitancia, además de un movimiento de flexión de -CH₂ en 719 cm⁻¹ con 75.18% de transmitancia.

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

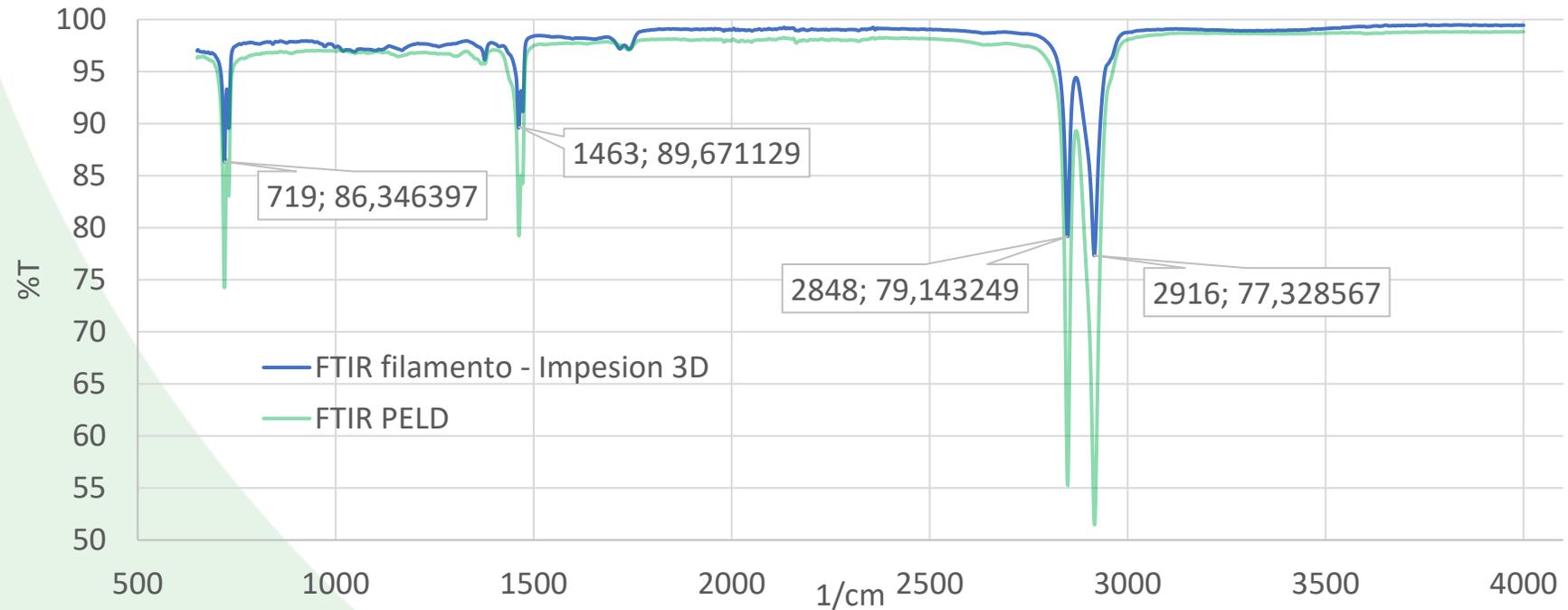


Caracterización del material

Figura 29

Espectrómetro del filamento y el estándar de PELD

Comparación FTIR de material del filamento
con patron de PELD estandar



Nota: Se puede identificar tres grupos de bandas los cuales corresponden a movimientos de tensión de los enlaces C-H a 2848 cm^{-1} con una transmitancia del 79.14%, C-C 1463 cm^{-1} y transmitancia del 89.67%, además de un movimiento de flexión de $-\text{CH}_2$ en 719 cm^{-1} y transmitancia del 86.34%

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

[Caracterización](#)

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Caracterización del material

Densidad

Para la caracterización de la densidad del material se tomó 3 probetas rectangulares como se muestra en la figura 48, se realizó la medición de la masa con la ayuda de una balanza Shimadzu TW423L la cual posee una apreciación de 0.001g, el volumen se calculó al medir la diferencia entre el volumen del aceite sin sumergir la probeta y cuando está a sido sumergida.

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

[Caracterización](#)

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Caracterización del material

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

[Caracterización](#)

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

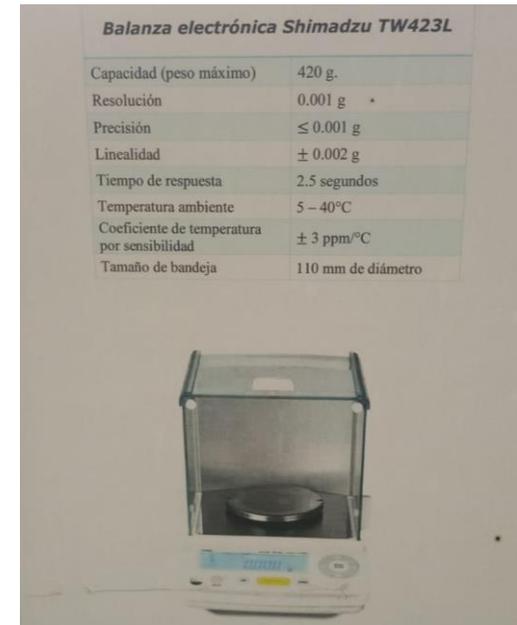
Figura 30

Probetas para cálculo de densidad



Figura 31

Balanza usada para medir masa de probetas, tubo con escala graduada de volumen





Caracterización del material

Tabla 19

Densidad de las probetas

| Probeta | Masa [g] | Volumen [cc] | Densidad [g/cc] |
|---------|----------|--------------|-----------------|
| 1 | 1,702 | 1,81 | 0,9400 |
| | 1,703 | 2,01 | 0,8480 |
| | 1,702 | 1,91 | 0,8928 |
| 2 | 1,386 | 1,47 | 0,9411 |
| | 1,386 | 1,64 | 0,8426 |
| | 1,386 | 1,64 | 0,8459 |
| 3 | 2,143 | 2,40 | 0,8916 |
| | 2,143 | 2,47 | 0,8686 |
| | 2,145 | 2,41 | 0,8901 |
| | | Promedio | 0,8845 |

Densidad calculada del material reciclado y procesado para obtener el filamento para impresora 3D

$$\rho = 0.8845 \frac{g}{cc}$$

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

[Caracterización](#)

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Análisis de Resultados

Determinación de parámetros adecuados para obtener el filamento

Para la obtención del filamento a partir de la extrusión de los plásticos reciclados se busca los parámetros de funcionamiento de los equipos que permitan obtener un filamento que no presente defectos y un diámetro adecuado, se elaboro una tabla con una escala cualitativa del 1-6 según los defectos o características superficiales que este presenta.

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

[Análisis de resultados](#)

Conclusiones

Recomendaciones



Análisis de Resultados

Tabla 20

Escala de calidad del filamento extruido

| Características o defectos presentados | Calidad asignada |
|---|------------------|
| Piel de tiburón en exceso, discontinuidad, diámetro muy variable | 1 |
| Presenta poca piel de tiburón en la superficie, filamento discontinuo, diámetro variable. | 2 |
| Diámetro variable, superficie no uniforme | 3 |
| Filamento con superficie rugosa | 4 |
| Partículas sin fundir, cuellos, filamento liso | 5 |
| Filamento liso, diámetro constante | 6 |

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

[Análisis de resultados](#)

Conclusiones

Recomendaciones



Análisis de Resultados

Tabla 21

Parámetros a optimizar con el DOE especificando un objetivo y rango de este

| Respuesta | Meta | Inferior | Objetivo | Superior | Ponderación | Importancia |
|-----------|----------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
| Diámetro | Objetivo | 1,8 | 2 | 2,4 | 1 | 1 |

Tabla 22

Solución de la optimización realizada

| Solución | Temperatura | Frecuencia | Diámetro Ajuste | Deseabilidad compuesta |
|----------|-------------|------------|-----------------|------------------------|
| 1 | 200 | 4 | 2 | 1 |

Como lo muestra en la tabla 22 los parámetros más adecuados son configurar una frecuencia de 4Hz y una temperatura de la extrusora censada por la termocupla de 200°C

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

[Análisis de resultados](#)

Conclusiones

Recomendaciones



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

[Conclusiones](#)

Recomendaciones

Conclusiones

La extrusión de filamento y la calidad de este varía en función de los parámetros configurados en el equipo de los cuales son la temperatura y la frecuencia del variador, con una temperatura entre 180°C y 200°C es lo adecuado para la producción de filamento y de igual forma la frecuencia del variador debe estar entre un rango de 4 y 7 Hz, con estos parámetros se puede obtener un filamento con un diámetro mayor a 1.75mm pero con un acabado liso y sin presencia de partículas sin fundir que pueden ocasionar cuellos al momento de extruir el filamento o taponamiento del extrusor de la impresora.



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

[Conclusiones](#)

Recomendaciones

Conclusiones

Con el ensayo FTIR se pudo obtener el espectrómetro del material y compararlo con otros de materiales estándar se determinó que el polímero al que corresponden las tapas de botella usadas para la fabricación del filamento es el polietileno de baja densidad (PELD), el espectrómetro del material base de las tapas y el del filamento son muy similares por lo cual los componentes químicos de las dos muestras siguen siendo los mismos, pero con diferente transmitancia, esto puede ser causa de que la concentración o distribución de estos componentes cambiaron debido a que al fundir el plástico se degrada en cierta cantidad



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

[Conclusiones](#)

Recomendaciones

Conclusiones

El material obtenido presenta un esfuerzo de fluencia promedio de 14,6 MPa y un esfuerzo máximo promedio de 20,3 MPa, además de poseer una deformación unitaria mm/mm de 7.632 por lo cual es un material que aún conserva buenas propiedades mecánicas y no se ha degradado demasiado en el proceso de reciclaje y extrusión, la densidad obtenida de este material fue de 0.8845 g/cc por lo cual es un material bastante ligero.



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

[Conclusiones](#)

Recomendaciones

Conclusiones

Los modelos impresos con este material requieren de un adhesivo que fije el elemento a la cama de impresión mientras se está construyendo, el adhesivo usado para la fabricación de probetas y modelos 3D fue cemento de contacto, debido a que el material es muy susceptible al warping y este se despega de la cama de impresión, pero es posible obtener modelos simples con buena calidad de acabado y sin sufrir efectos de delaminación.



Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

[Conclusiones](#)

Recomendaciones

Conclusiones

De todas las pruebas realizadas y los resultados obtenidos se concluye que si es posible obtener un filamento a partir de plástico reciclado el cual es adecuado para ser usado en impresoras 3D convencionales y es capaz de producir modelos 3D sin defectos de delaminación y con buen acabado superficial.



Recomendaciones

Para futuras investigaciones con otros materiales o adición de algún componente al filamento para mejorar sus propiedades, se recomienda mejorar los mecanismos de la extrusora para que esta permita producir una mayor cantidad de filamento en menor tiempo y pueda trabajar a mayores presiones.

Introducción

Definición del problema

Justificación

Alcance

Objetivos

Metodología

Materiales

Obtención de filamento

Diseño

Impresión de modelo

DOE

Caracterización

Análisis de resultados

Conclusiones

[Recomendaciones](#)

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



Bibliografía.

- Opazo María. (2020). *¿Sabes cómo clasificar tus plásticos?* <https://www.diariosostenible.cl/noticia/el-dato-sostenible/2020/09/sabes-como-clasificar-tus-plasticos>
- Palacios María. (2017). *Diseño y puesta en marcha de nuevos filamentos cargados para su uso en impresión 3D* [Universitat Politècnica De Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/95313/PALACIOS%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20puesta%20en%20marcha%20de%20nuevos%20filamentos%20cargados%20para%20su%20uso%20en%20impresion%203D.pdf>
- Prendho UTPL. (2018). *Emprendimiento Lojano Imprime En 3D Con Material Reciclado.*
- Roberto Adeva. (2023). *Todo lo que debes saber sobre la impresión 3D y sus utilidades.* <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/impresion-3d/>