

CAPÍTULO 3

RECICLADO Y EXTRUSIÓN DEL EVA (ETIL VINIL ACETATO)

3.1. RECICLADO Y OBTENCIÓN DEL EVA DE DESECHO (ETIL VINIL ACETATO)

El reciclado mecánico es el proceso utilizado para la recuperación del material que posteriormente se someterá al proceso de extrusión, este procedimiento permite que el EVA (etil vinil acetato) de desecho o también llamado scrap (desecho plástico producido en la fábrica) sea recuperado para su reutilización. A continuación se detalla el proceso de obtención y reciclaje utilizado:

1. El EVA necesario se obtuvo gracias a la cooperación de la empresa *Plasticaucho Industrial S.A*, y es material de residuos que se genera en los diferentes procesos que la empresa utiliza para la fabricación de sus productos como: entresuelas para el calzado, sandalias y materiales para manualidades. La recolección se la realizó durante unos 3 días en 3 diferentes semanas gracias a colaboración del personal de la planta. La mayor cantidad de desechos se constituyen de: material que queda al pie de las máquinas, rebabas de las planchas que se fabrican y artículos con fallas en su acabado final. Asimismo se realiza un proceso de reciclado en la planta, considerándolo ya no como materia prima sino como material de carga para la fabricación de los diferentes productos con lo que se logra reducir los costos de producción.

El producto de desecho recolectado fue homogéneo en su composición, pues no estaba mezclado con otro tipo de plásticos. 30% del material de desecho recogido provino del proceso de termoformado usado para la fabricación de entresuelas.



Fig. 3.1 EVA de desecho listo para el reproceso

La siguiente tabla muestra ciertas características del EVA recolectado para el proceso de extrusión:

Tabla 3.1 Características de la goma EVA (foamy) producida en Plasticaucho Industrial S.A.

| Material | Dureza Shore A | Densidad (g/cm ³) | Contenido de Vinil Acetato VA (%) |
|---------------|----------------|-------------------------------|---|
| EVA playero | 30 | 0.14 | Entre 39 y 42 dependiendo de la fórmula |
| EVA carbonato | 18 | 0.12 | |
| EVA PL | 46 | 0.23 | |
| EVA sandalia | 30 | 0.13 | |
| EVA plantilla | 15 | 0.09 | |

Fuente: Plasticaucho Industrial S.A.

2. Separación final y limpieza: se la realizó en forma manual. El objetivo es, por una parte, clasificar el material en forma definitiva y, por otra, eliminar impurezas gruesas de otro tipo de material que no sea EVA con la finalidad de obtener un residuo más limpio y homogéneo en su constitución.

3. Molienda o triturado: En una primera etapa se efectuó el corte manual del material recolectado en tiras de aproximadamente 30 cm x 5 cm, esto para facilitar el ingreso del material a la trituradora. En una segunda etapa el material fue colocado para su procesamiento en una trituradora de plásticos perteneciente al laboratorio de Mecánica de Materiales de la ESPE la misma que posee las siguientes características:

La trituradora está constituida por una unidad de carga que es una abertura de 10 x 110 (mm) y una capacidad de alimentación de 0.5 kg/min. La función de esta es disponer el material de la mejor manera posible en la parte de trituración con el fin de evitar cualquier inconveniente posible durante la molienda.



Fig. 3.2 Máquina trituradora de plásticos del Laboratorio de Mecánica de Materiales del DECEM

El rotor del equipo constituye una de las partes más importantes dentro del sistema de la trituración, este es encargado de realizar el corte mediante las cuchillas móviles que forman parte del rotor. La energía es entregada por un motor eléctrico y un sistema de transmisión que se describe a continuación:

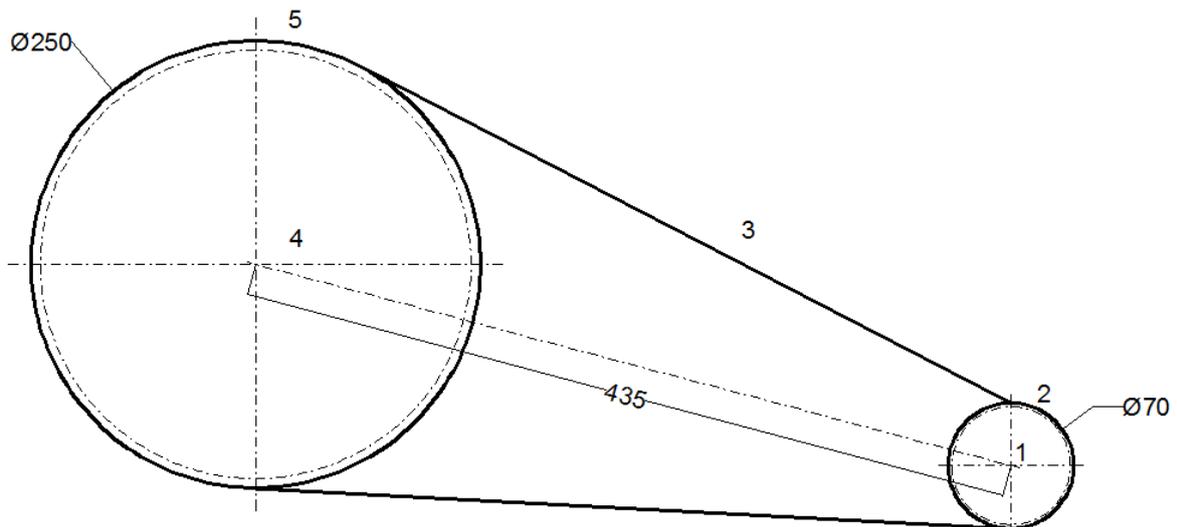


Fig. 3.3 Sistema de transmisión de la máquina trituradora de plásticos

- 1 Motor eléctrico trifásico:
 - Potencia: ½ HP
 - Velocidad: 1140 rpm
 - Voltaje: 220-224 V
- 2 Polea conductora
- 3 Correa Dayco Ap-53
- 4 Rotor porta cuchillas
- 5 Polea conducida

La velocidad de rotación del rotor porta cuchillas se determina mediante la relación de transmisión del sistema de banda y poleas, como sigue:

$$i = \frac{n_5}{n_2} = \frac{D_2}{D_5} \quad (3.1)$$

$$n_5 = \frac{D_2}{D_5} * n_2$$

$$n_5 = \frac{70\text{mm}}{250\text{mm}} * 1140\text{rpm}$$

$$n_5 = 319\text{rpm}$$

La acción de corte de la trituradora se produce mediante una serie de 3 cuchillas dispuestas alrededor del rotor y una estacionaria las que realizan el cizallamiento, están elaboradas de un acero cromo vanadio que son utilizadas para material suave y no abrasivos como es el caso del EVA, las dimensiones de las cuchillas móviles son de 150 mm de longitud total, 20 mm de espesor y con la ayuda de galgas se ajustaron las cuchillas para que exista una holgura entre las móviles y la fija de aproximadamente 0.1 mm.



Fig. 3.4 Máquina trituradora de plásticos durante el proceso de corte del EVA de desecho

El tamaño del material molido obtenido de acuerdo a las dimensiones de la malla de la trituradora fue de aproximadamente 4 mm.



Fig. 3.5 EVA de desecho triturado

4. Y finalmente se realizó el proceso de extrusión mediante el cual el EVA de desecho molido se introdujo en la extrusora forzándolo a pasar a través de una boquilla de sección circular de 5 mm de diámetro, por medio del empuje generado por la acción giratoria del tornillo que rota concéntricamente en el cilindro a temperaturas controladas, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El EVA de desecho es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje este se funde, fluye y mezcla en el cilindro y se obtiene por el otro lado perfiles cilíndricos. El procedimiento detallado se lo explica en el capítulo 2.

El siguiente esquema describe el proceso de obtención y reciclado del EVA realizado.

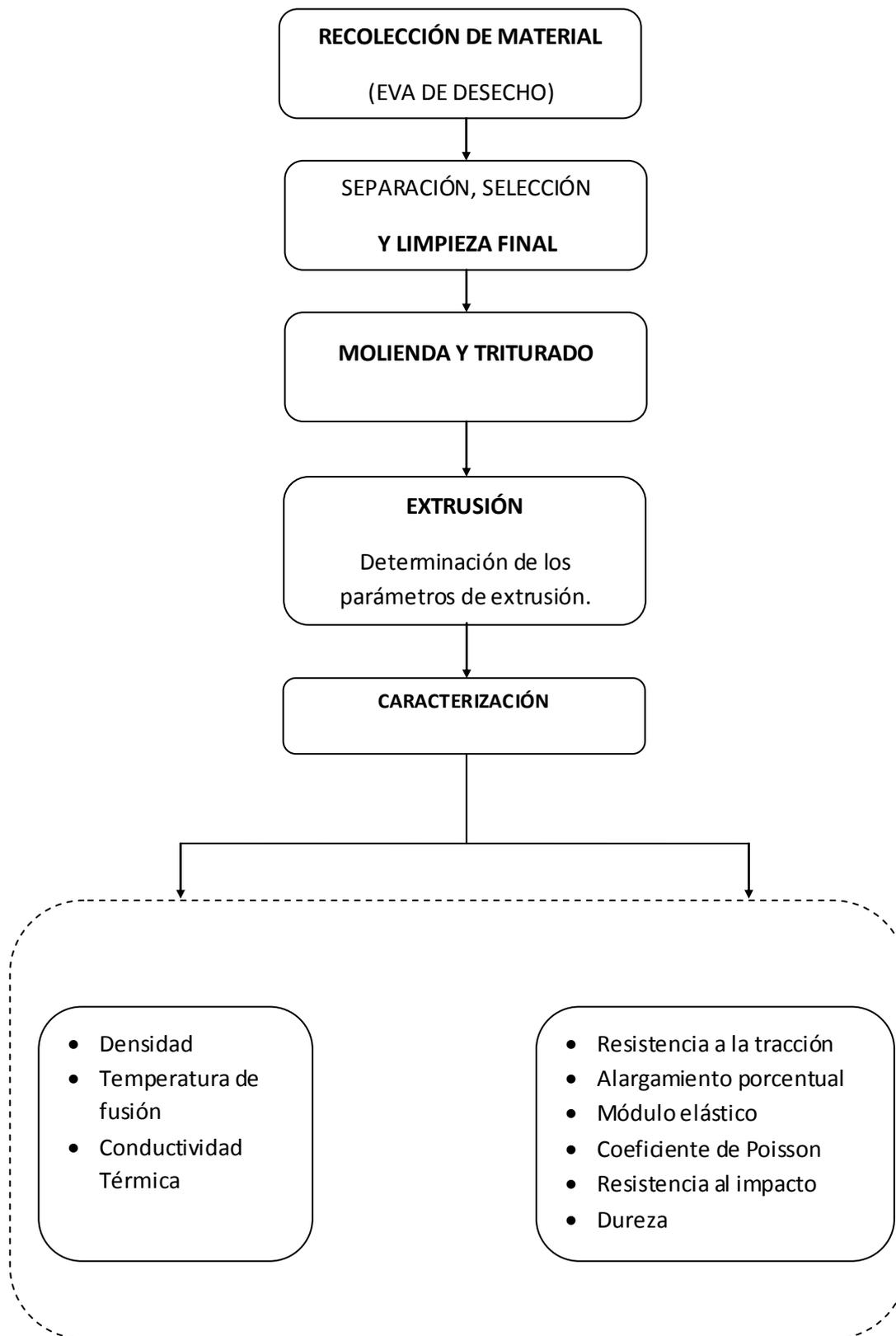


Fig. 3.6 Esquema del procesamiento del EVA de desecho

3.2. PROCEDIMIENTO DE EXTRUSIÓN PARA EL MATERIAL RECICLADO

El procedimiento práctico utilizado para el proceso de extrusión del EVA de desecho se detalla a continuación:

1. Encender el interruptor central del equipo de extrusión para suministrar energía eléctrica al resto de componentes de la máquina, luego accionar los interruptores de los controles digitales de temperatura encargados del control de las bandas calefactoras que a su vez controlan las diferentes zonas del cilindro, fijando la temperatura para la zona 1 en 125°C y 130°C para la zona 2.
2. Precalentar el equipo por un espacio entre 30 y 40 minutos, luego de lo cual se procede a depositar el EVA de desecho triturado dentro de la tolva de alimentación.
3. Fijar una frecuencia de 20 Hz que representa una velocidad de rotación de aproximadamente 30 rpm, la cual es controlada por medio del variador de frecuencia de la máquina. Poner en funcionamiento el motor y esperar un lapso de 10 minutos para que el motor, por medio del tornillo, desplace el material por las zonas de extrusión.
4. La recepción del material extruido (0.02 g/s aproximadamente) es de forma manual, por lo que se debe estar equipado con guantes de seguridad industrial para evitar quemaduras con el plástico, a la salida del dado.
5. A lo largo de la salida del material procesado es recomendable sostenerlo sobre una placa plana para evitar deformaciones excesivas del perfil extruido, aunque las condiciones del producto final dependen principalmente de la velocidad de arrastre y de la temperatura.

6. Procurar llevar una continuidad del material extruido a lo largo de la salida de modo que no se produzca un freno del material que circula.
7. Una vez que se ha terminado la materia prima se debe dejar la máquina en funcionamiento por unos 10 minutos aproximadamente, hasta que no exista una carga considerable para el motor (fricción del material con el tornillo y las paredes del cilindro), lo que representa que se lo puede apagar sin problema alguno.
8. Apagar tanto los interruptores de los controles digitales de temperatura como el interruptor central de la máquina extrusora.
9. Para evitar daños al funcionamiento del extrusor, una vez apagado el motor se debe realizar la limpieza en caliente para retirar el plástico sobrante en el dado, para lo cual se requiere de herramientas afiladas como una cuchilla, varillas, entre otras.
10. Finalmente, luego de la limpieza del equipo se procede a recolectar el producto extruido y determinar, si hubiese, el desperdicio resultante del proceso.

3.3. VARIABLES DEL PROCESO

3.3.1. TEMPERATURA

La temperatura de fusión del EVA generalmente está en el rango de 85 a 105°C (185 a 401°F) y depende tanto del índice de fluidez como del porcentaje de vinil acetato (VA) presente en el material, y se recomienda una temperatura de procesamiento no mayor a 220°C (428°F) como una precaución ante la degradación del material.

Una recomendación para el procesamiento por extrusión del EVA se describe en la siguiente tabla:

Tabla 3.2 Perfiles de temperatura de extrusión típicos, °C (°F)

| Zonas del cilindro | | | | | | | |
|--------------------|-------------------|-----------|-----------------|-----------|--------------------|-----------|---------------------------------------|
| Posterior | Posterior Central | Centro | Frontal Central | Frontal | Cabeza y adaptador | Dado | Temperatura de fusión nominal deseada |
| 80 (175) | 95 (200) | 95 (200) | 95 (200) | 95 (200) | 95 (200) | 95 (200) | 95 (200) |
| 90 (195) | 120 (250) | 120 (250) | 120 (250) | 120 (250) | 120 (250) | 120 (250) | 120 (250) |
| 90 (195) | 150 (300) | 150 (300) | 150 (300) | 150 (300) | 150 (300) | 150 (300) | 150 (300) |
| 90 (195) | 150 (300) | 175 (350) | 175 (350) | 175 (350) | 175 (350) | 175 (350) | 175 (350) |
| 90 (195) | 150 (300) | 205 (400) | 205 (400) | 205 (400) | 205 (400) | 205 (400) | 205 (400) |

Fuente: DuPont. Extrusion Guide

Debido a las limitaciones de control de la máquina extrusora del laboratorio de Mecánica de Materiales, únicamente es posible controlar la temperatura de 2 zonas del cilindro así como de la boquilla en conjunto.

La temperatura óptima hallada para el procesamiento del EVA de desecho fue de 125°C para la zona 1 que corresponde a la zona posterior hasta la central del cilindro, y 130°C para la zona 2 que representa la zona desde el centro del cilindro hasta el dado de extrusión.

Incremento de la energía interna del polímero

La siguiente relación permite determinar la cantidad teórica de calor necesaria para elevar una masa de material a determinada temperatura:

$m := 500$ g Masa de EVA (Etil Vinil Acetato)

$cp := 3.14$ $\frac{J}{g \cdot ^\circ C}$ Capacidad Calorífica

Zona 1 (Zona trasera de calentamiento)

$T_o := 22$ $^\circ C$ Temperatura de entrada a la zona 1

$T_f := 125$ $^\circ C$ Temperatura de salida de la zona 1

$\Delta T := T_f - T_o$

$\Delta T = 103$ $^\circ C$ Variación de Temperatura

$Q_{abs1} := m \cdot cp \cdot \Delta T$

$Q_{abs1} = 1.617 \times 10^5$ Julios Calor absorbido por el material en la Zona 1

Zona 2 (Zona frontal de calentamiento)

$T_o := 98$ $^\circ C$ Temperatura de entrada a la zona 2

$T_f := 130$ $^\circ C$ Temperatura de salida de la zona 2

$\Delta T := T_f - T_o$

$\Delta T = 32$ $^\circ C$ Variación de Temperatura

$Q_{abs2} := m \cdot cp \cdot \Delta T$

$Q_{abs2} = 5.024 \times 10^4$ Julios Calor absorbido por el material en la Zona 2

$Q_{total} := Q_{abs1} + Q_{abs2}$

$Q_{total} = 2.119 \times 10^5$ Julios Cantidad total de calor necesario para elevar !
gramos de EVA de 22 $^\circ C$ a 130 $^\circ C$

La potencia eléctrica entregada en forma de calor por medio de las bandas calefactoras viene dada por:

$$V := 220 \quad \text{V}$$

Voltaje

$$P1 := 700 \quad \text{W}$$

Cinco bandas de 700 vatios

$$P2 := 400 \quad \text{W}$$

Una banda de 400 vatios

$$P_{\text{total}} := 5P1 + P2$$

$$P_{\text{total}} = 3.9 \times 10^3 \quad \text{W}$$

Potencia eléctrica total

$$I := \frac{P_{\text{total}}}{V}$$

$$I = 17.727 \quad \text{A}$$

$$r := \frac{V}{I}$$

$$r = 12.41 \quad \text{ohm}$$

$$\Delta t := 60 \cdot 60$$

$$\Delta t = 3.6 \times 10^3 \quad \text{seg}$$

Las temperaturas de operación requeridas se alcanzan luego de aproximadamente 30 minutos c funcionamiento del equipo

$$Q_{\text{gen}} := I^2 \cdot r(\Delta t)$$

$$Q_{\text{gen}} = 1.404 \times 10^7 \quad \text{Julios}$$

Calor generado por las 5 bandas

3.3.2. VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL TORNILLO

La velocidad del tornillo no influye directamente en el flujo del material fundido, sin embargo, indirectamente afecta la presión del flujo ya que altera la viscosidad de la fusión, es por esta razón que el control de la velocidad de rotación del tornillo es importante para eliminar variables durante la operación de la máquina extrusora. La velocidad a la cual gira el tornillo controla cuanto del material fundido es bombeado a través del dado. Esta tasa de bombeo

proporciona un importante control de los factores del producto final como dimensiones de espesores, anchos o diámetros.

En la práctica se determinó una velocidad óptima de rotación del tornillo de 30 rpm, la cual fue posible fijarla indirectamente gracias al variador de frecuencia del equipo extrusor y que representa 20 Hz.

3.3.3. VELOCIDAD DE FLUJO

Las distintas velocidades de flujo se determinan con la ayuda de los datos medidos en el procedimiento experimental así como con las ecuaciones descritas anteriormente y con la utilización del software MathCAD:

| | | |
|-------------|-----|------------------------------------|
| D := 23.8 | mm | Diámetro del cilindro |
| N := 30 | rpm | Velocidad de rotación del tornillo |
| L := 760 | mm | Longitud total del tornillo |
| A := 18.832 | ° | Ángulo de la hélice |
| dc := 2.675 | mm | Profundidad media del canal |
| Dd := 5 | mm | Diámetro de la abertura del dado |
| Ld := 10 | mm | Longitud de la abertura del dado |
| t := 5 | min | Tiempo del ensayo |
| d := 4.5 | mm | Diámetro medio de la probeta |
| l := 400 | mm | Longitud de la probeta |
| m := 7 | g | Masa de la probeta |

Cálculo experimental de la tasa de salida

$$v := \frac{1}{100060t}$$

$$v = 1.333 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo experimental de la velocidad de flujo másico del material fundido a través del dado

$$Q_m := \frac{m}{100060t}$$

$$Q_m = 2.333 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Apartir de los datos medidos se puede calcular tanto el volumen de la probe como la densidad del material extruido

$$V := \frac{\pi}{4} \cdot (d \cdot 10^{-3})^2 \cdot \frac{1}{1000}$$

$$V = 6.362 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho := \frac{m}{1000V}$$

$$\rho = 1100.33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

El caudal volumétrico puede ser determinado a partir de los cálculos anterior

$$Q_v := \frac{Q_m}{\rho}$$

$$Q_v = 2.121 \times 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Además se calcula la velocidad de flujo resultante y se puede notar que es aproximadamente igual a la velocidad de flujo volumétrico, lo cual indica un correcto procedimiento de cálculo

$$Q_x := v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{D_d}{1000} \right)^2$$

$$Q_x = 2.618 \times 10^{-8} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

La velocidad de flujo volumétrico por arrastre depende de la geometría del torn y de su velocidad de rotación, como sigue:

$$Q_d := 0.5 \pi^2 \cdot D^2 \cdot \frac{N}{60} \cdot d_c \cdot \sin\left(A \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \cos\left(A \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

$$Q_d = 1142.22 \quad \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}$$

$$Q_d := \frac{Q_d}{1000^3}$$

$$Q_d = 1.142 \times 10^{-6} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El flujo a contrapresión se puede determinar de la siguiente manera:

$$Q_b := Q_d - Q_x$$

$$Q_b = 1.116 \times 10^{-6} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3.3.4. PRESIÓN

Debido a falta de transductores o sensores de presión en el extrusor, resulta difícil cuantificar la presión estática dentro del cilindro, sin embargo como un primer paso se calcula la viscosidad y el esfuerzo cortante, posteriormente la máxima presión estática para luego hallar las características del extrusor y del dado; lo cual posibilitará determinar la presión estática del punto de operación de la máquina.

La viscosidad y el esfuerzo cortante se aproxima con el cálculo de la tasa de cortante y las curvas reológicas del material:

$$\gamma := \frac{32 \cdot Q_x}{\pi \cdot \left(\frac{Dd}{1000}\right)^3}$$

$$\gamma = 2.133 \quad \text{s}^{-1}$$

Para una tasa de cortante de 2.133 s⁻¹ y una temperatura de extrusión de 130 la viscosidad y el esfuerzo cortante es aproximadamente:

$$\eta := 5000 \quad \text{Pa}\cdot\text{s}$$

$$\tau := 0.06 \quad \text{MPa}$$

Cálculo de la máxima presión estática

$$p_{\max} := \frac{6 \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{N}{60} \cdot L \cdot \eta \cdot \cot\left(A \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{dc^2}$$

$$p_{\max} = 3.493 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

$$p_{\max} := \frac{p_{\max}}{10^6}$$

$$p_{\max} = 349.273 \quad \text{MPa}$$

Ahora es posible determinar la presión de operación del extrusor

$$p := \frac{Q_b \cdot 1000^3 \cdot 12 \cdot \eta \cdot L}{\pi \cdot D \cdot dc^3 \cdot \sin\left(A \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2}$$

$$p = 3.413 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

$$p := \frac{p}{10^6}$$

$$p = 341.267 \quad \text{MPa}$$

El factor de forma para el dado

$$K_s := \frac{Q_x}{p}$$

$$K_s = 7.671 \times 10^{-11}$$

Caída de presión en el dado

$$\Delta P := \frac{4 \cdot L_d \cdot \tau}{D_d}$$

$$\Delta P = 0.48 \quad \text{MPa}$$

Característica del extrusor y del dado

$$Q1(p1) := 1.142 - 3.27010^{-3} p1 \quad \text{Ecuación característica del extrusor}$$

$$Q2(p2) := 7.67110^{-5} p2 \quad \text{Ecuación característica del dado}$$

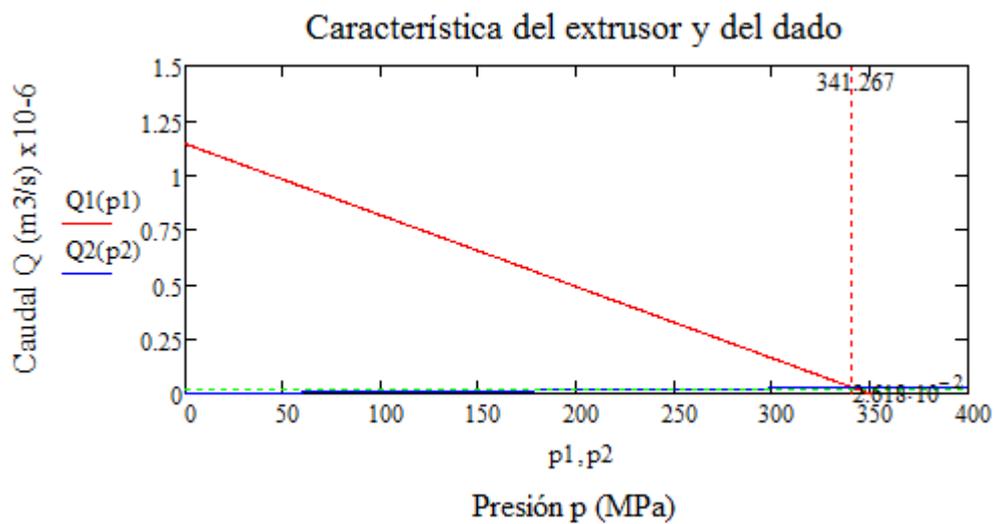


Fig. 3.7 Punto de operación de la máquina extrusora

3.4. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS NECESARIOS PARA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Tabla 3.3 Equipos y accesorios necesarios para el proceso de extrusión

| EQUIPO | IMAGEN | CARACTERISTICAS TÉCNICAS |
|--------------------------|--|---|
| Balanza |  | Balanza OHAUS Capacidad: 45 kg |
| Pie de rey |  | Alcance: 0-150 mm Apreciación: 0.01mm |
| Multimetro |  | Multimetro digital FLUKE Termocupla tipo J |
| Trituradora de plásticos |  | Capacidad de alimentación de 0.5 kg/min Potencia: ½ hp Velocidad: 1140 rpm Voltaje 220 V |

Tabla 3.3 Equipos y accesorios necesarios para el proceso de extrusión (Continuación)

| EQUIPO | IMAGEN | CARACTERISTICAS TÉCNICAS |
|------------------------------|--|--|
| Extrusora de tornillo simple |  | <p>Relación L/D: 32:1 Capacidad: 1 Kg/h Diámetro del usillo: 23,8 mm Velocidad angular del usillo: 30 rpm Potencia del Motor: 1 HP Potencia de los Calefactores: 3,9 KW</p> |
| Boquilla roscada |  | <p>Material: AISI 4337 Diámetro de la abertura de salida del material: 5 mm</p> |

3.5. PRUEBAS DE EXTRUSIÓN

Las pruebas se realizaron modificando las siguientes variables del proceso:

T1 = temperatura de la zona 1

T2 = temperatura de la zona 2

N = Velocidad de rotación del tornillo

Las temperaturas se fueron modificando y realizando los ajustes necesarios y, aunque la tabla de perfiles de temperatura de extrusión típicos recomendada por DuPont (ver tabla 3.2) es para el procesamiento de la resina EVA, sirve como una guía general para la extrusión del EVA de desecho.

En esta etapa se vio la necesidad de fijar una temperatura de precalentamiento de la máquina en 260°C para purgar el PET remanente dentro del equipo como paso previo a la extrusión del EVA, para posteriormente reducir las temperaturas a las condiciones de trabajo que se detalla más adelante.

Para la velocidad de rotación del tornillo se tomó como mínimo 20 rpm y velocidad máxima la más alta recomendaba para la operación del motorreductor de la máquina extrusora, cuyo valor corresponde a 50 rpm.

A continuación se muestra las siguientes tablas, en la que se detalla la variación de parámetros realizados y además se especifica la apariencia visual de la probeta siendo M malo, R regular y B bueno:

Tabla 3.4 Variables del proceso de extrusión (T1 y T2, N constante)

| Tiempo de precalentamiento de la extrusora: 60 min a T1 = T2 = 260°C | | | | |
|--|-----|-----|------|--------|
| ENSAYO | T1 | T2 | N | ESTADO |
| | °C | °C | rpm | |
| 1 | 155 | 170 | 50.0 | M |
| 2 | 165 | 165 | 50.0 | M |
| 3 | 160 | 160 | 50.0 | M |

Tabla 3.5 Variables del proceso de extrusión (T1 y T2 constante, N)

| Tiempo de precalentamiento de la extrusora: 60 min a T1 = T2 = 180°C | | | | |
|--|-----|-----|------|--------|
| ENSAYO | T1 | T2 | N | ESTADO |
| | °C | °C | rpm | |
| 4 | 140 | 170 | 20.0 | M |
| 5 | 140 | 170 | 25.0 | M |
| 6 | 140 | 170 | 30.0 | M |
| 7 | 140 | 170 | 35.0 | M |
| 8 | 140 | 170 | 40.0 | M |
| 9 | 140 | 170 | 45.0 | M |
| 10 | 140 | 170 | 50.0 | M |

Tabla 3.6 Variables del proceso de extrusión (T1 y T2 constante, N)

| Tiempo de precalentamiento de la extrusora: 60 min a T1 = T2 = 160°C | | | | |
|--|-----|-----|------|--------|
| ENSAYO | T1 | T2 | N | ESTADO |
| | °C | °C | rpm | |
| 11 | 120 | 150 | 20.0 | M |
| 12 | 120 | 150 | 25.0 | R |
| 13 | 120 | 150 | 30.0 | M |
| 14 | 120 | 150 | 35.0 | M |

**Tabla 3.6 Variables del proceso de extrusión (T1 y T2 constante, N)
(Continuación)**

| Tiempo de precalentamiento de la extrusora: 60 min a T1 = T2 = 160°C | | | | |
|--|-----|-----|------|--------|
| ENSAYO | T1 | T2 | N | ESTADO |
| | °C | °C | rpm | |
| 15 | 120 | 150 | 40.0 | M |
| 16 | 120 | 150 | 45.0 | M |
| 17 | 120 | 150 | 50.0 | M |

Tabla 3.7 Variables del proceso de extrusión (T1 y T2 constante, N)

| Tiempo de precalentamiento de la extrusora: 60 min a T1 = T2 = 140°C | | | | |
|--|-----|-----|------|--------|
| ENSAYO | T1 | T2 | N | ESTADO |
| | °C | °C | rpm | |
| 19 | 120 | 140 | 20.0 | M |
| 10 | 120 | 140 | 25.0 | R |
| 20 | 120 | 140 | 30.0 | M |
| 21 | 120 | 140 | 35.0 | M |
| 22 | 120 | 140 | 40.0 | M |
| 23 | 120 | 140 | 45.0 | M |
| 24 | 120 | 140 | 50.0 | M |

Tabla 3.8 Variables del proceso de extrusión (T1 y T2 constante, N)

| Tiempo de precalentamiento de la extrusora: 60 min a T1 = T2 = 130°C | | | | |
|--|-----|-----|-------|--------|
| ENSAYO | T1 | T2 | N | ESTADO |
| | °C | °C | rpm | |
| 25 | 125 | 130 | 20,00 | R |
| 26 | 125 | 130 | 25,00 | B |
| 27 | 125 | 130 | 30,00 | R |

**Tabla 3.8 Variables del proceso de extrusión (T1 y T2 constante, N)
(Continuación)**

| Tiempo de precalentamiento de la extrusora: 60 min a T1 = T2 = 160°C | | | | |
|--|-----|-----|-------|--------|
| ENSAYO | T1 | T2 | N | ESTADO |
| | °C | °C | rpm | |
| 28 | 125 | 130 | 35,00 | R |
| 29 | 125 | 130 | 40,00 | R |
| 30 | 125 | 130 | 45,00 | M |
| 31 | 125 | 130 | 50,00 | M |

Tabla 3.9 Variables del proceso de extrusión (T1 y T2 constante, N)

| Tiempo de precalentamiento de la extrusora: 60 min a T1 = T2 = 130°C | | | | |
|--|-----|-----|------|--------|
| ENSAYO | T1 | T2 | N | ESTADO |
| | °C | °C | rpm | |
| 32 | 120 | 130 | 20.0 | M |
| 33 | 120 | 130 | 25.0 | R |
| 34 | 120 | 130 | 30.0 | R |
| 35 | 120 | 130 | 35.0 | M |
| 36 | 120 | 130 | 40.0 | M |
| 37 | 120 | 130 | 45.0 | M |
| 38 | 120 | 130 | 50.0 | M |

Las temperaturas y velocidad óptimas en las que el producto de extrusión presenta mejor acabado superficial y cierta flexibilidad se detallan en la tabla 3.6. A partir de estos resultados se procedió a extruir probetas en un tiempo de prueba de 5 minutos para realizar los ensayos mecánicos y físicos que servirán de comparación con el material reciclado inicialmente.

Imágenes de las probetas más representativas se pueden apreciar en el anexo C.

