

# Antes de comenzar nuestra sesión ...



INSTITUTO DE  
CAPACITACIÓN  
E INVESTIGACIÓN  
DEL PLÁSTICO Y  
DEL CAUCHO



Ubícate en un  
lugar cómodo



Prepárate un café  
o tu bebida favorita



Alista lápiz y papel  
para tomar nota

# Durante la sesión ...



Interactuar con los docentes y  
demás participantes del curso  
a través del chat



Q&A

Dejar tus preguntas haciendo  
clic en el botón Q&A (Preguntas y  
Respuestas).



No grabar la sesión.  
Recuerda que no está  
permitido

# Programa de Formación: “Fortalecimiento de las capacidades técnicas de los transformadores de residuos de PET”



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS  
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Confederación Suiza

Departamento Federal de Economía,  
Formación e Investigación DEFI  
Secretaría de Estado para Asuntos Económicos SECO



Ministerio de  
**Comercio, Industria  
y Turismo**





INSTITUTO DE  
CAPACITACIÓN  
E INVESTIGACIÓN  
DEL PLÁSTICO Y  
DEL CAUCHO



# Módulo 1: Caracterización y control de calidad de material reciclado

---

**Sonia Esperanza Reyes Gómez, Ph. D.**  
Investigadora Consultora Asociada

# Ponente:

## Ph.D Sonia Esperanza Reyes Gómez



Investigadora Consultora Asociada del ICIPC. Ingeniera Química de la Universidad Industrial de Santander - UIS. Con maestría y doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México - UNAM. Realizó su estancia postdoctoral en el Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho - ICIPC del 2021 al 2022. Actualmente es co-coordinadora del Clúster de Empaques y participa en proyectos de sostenibilidad, reciclaje y valorización de residuos plásticos y en la dirección y/o ejecución de proyectos de I+D. Tiene experiencia en áreas de conocimiento como: la síntesis, caracterización y reciclaje de materiales poliméricos; metátesis de olefinas, catálisis organometálica, métricas de química verde y divulgación científica. Se ha desempeñado como docente e investigadora en ingeniería y como evaluadora de proyectos, revistas y eventos científicos. Autora de publicaciones científicas y ponente en eventos nacionales e internacionales.

## Módulo 1. Caracterización y control de calidad de material reciclado

### Parte 1

1. Introducción a los polímeros
2. Tipos de caracterización de los materiales poliméricos
  - a. Reológica
  - b. Física
  - c. Química y térmica
  - d. Mecánica
3. Plásticos - reciclado de botellas de tereftalato de polietileno (PET) postconsumo. Preparación de especímenes y determinación de propiedades basado en la norma ISO 12418-2:2012



INSTITUTO DE  
CAPACITACIÓN  
E INVESTIGACIÓN  
DEL PLÁSTICO Y  
DEL CAUCHO



# INTRODUCCIÓN

---

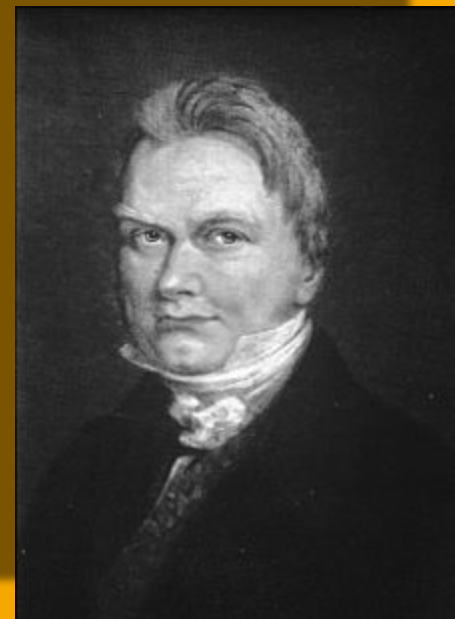


# Etimología de la palabra POLÍMERO

- Poli : muchas
- Mero: partes

Usaba el término para fórmulas idénticas pero de distinto peso molecular

La glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) era visto como un “polímero” del formaldehído ( $CH_2O$ )



**Jöns Jacob Berzelius, 1833**



- **Ventajas – Desventajas** (según la aplicación)

- Son livianos



Acero:  $7800 \text{ kg/m}^3$



plásticos:  $1000 \text{ kg/m}^3$

- Fáciles de procesar / procesables a baja temperatura



plásticos:  $100\text{-}350^\circ\text{C}$



Vidrio:  $1500^\circ\text{C}$

- **Ventajas – Desventajas** (según la aplicación)

- Su resistencia térmica es limitada / son reciclables (monomateriales)



- Excelentes aislantes térmicos y eléctricos



$k=0.2 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ , en espumas= $0.02\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$  en acero  $k=60\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ .



ICIPC®

# Propiedades de los materiales poliméricos



- **Ventajas** – **Desventajas** (según la aplicación)

- Sus propiedades se dejan modificar fácilmente
- Se dejan colorear fácilmente
- Tienen una gran resistencia química
- Son permeables.
- En términos generales no son biodegradables.



# ¿Cómo se forman los polímeros?

Son “cadenas” macromoleculares

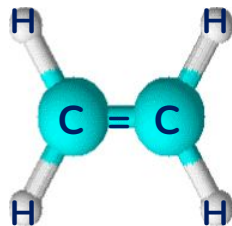


Eslabón

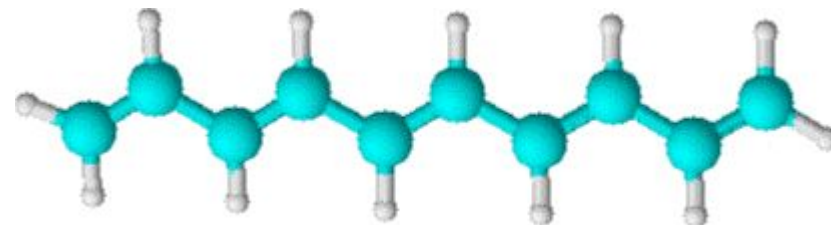


<https://www.pngocean.com/>

Cadena



Monómero: Etileno



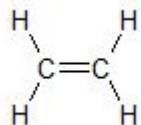
Polímero: Polietileno

# ¿Cómo se forman los polímeros?

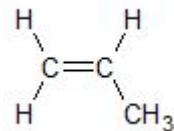
## Algunos ejemplos

### Monómero

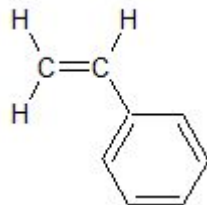
Etileno



Propileno

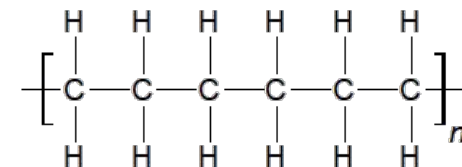


Estireno

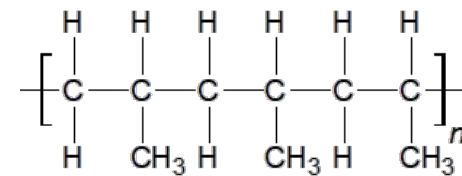


### Polímero

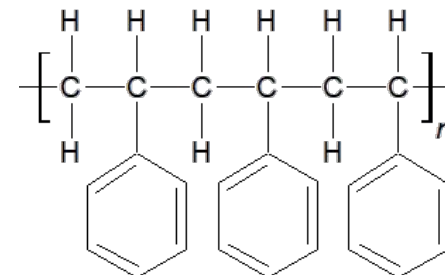
Polietileno



Polipropileno

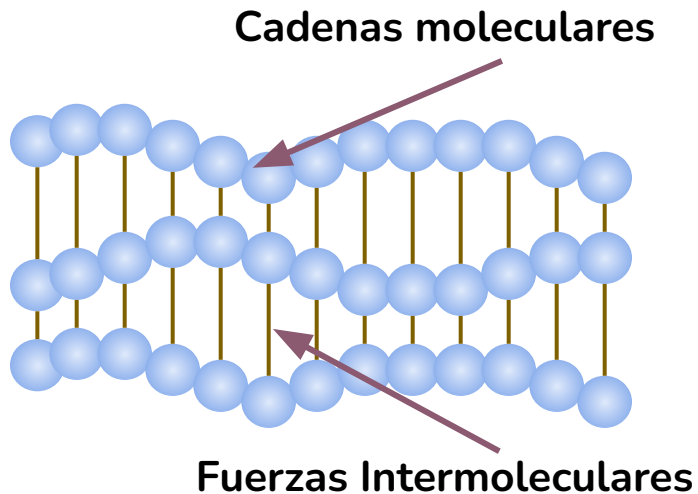


Poliestireno



# ¿Cómo se forman los polímeros?

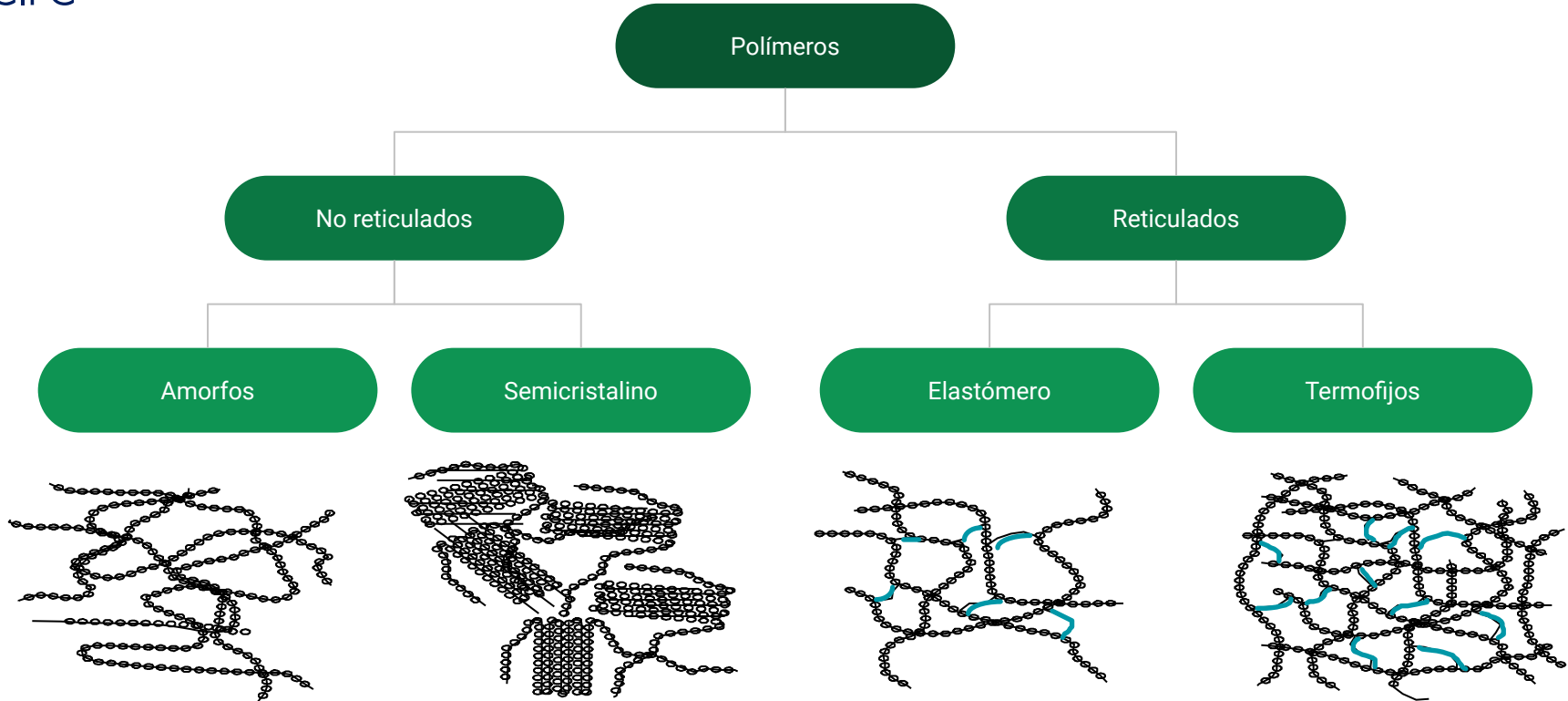
## Fuerzas Intermoleculares



Mantienen “unidas” las macromoléculas a través de atracciones definidas por el potencial químico



Piensa como si las cadenas de polímeros fueran espaguetis, pero a nivel molecular



# Polímeros Amorfos



Poliestireno (PS)



Poliestireno butadieno  
(SB)



Acrilonitrilo-butadieno-  
estireno (ABS)



Estireno acrilonitrilo  
(SAN)



Polimetilmetacrilato  
(PMMA)



Policloruro de vinilo  
(PVC)



Acetato de celulosa  
(CA)

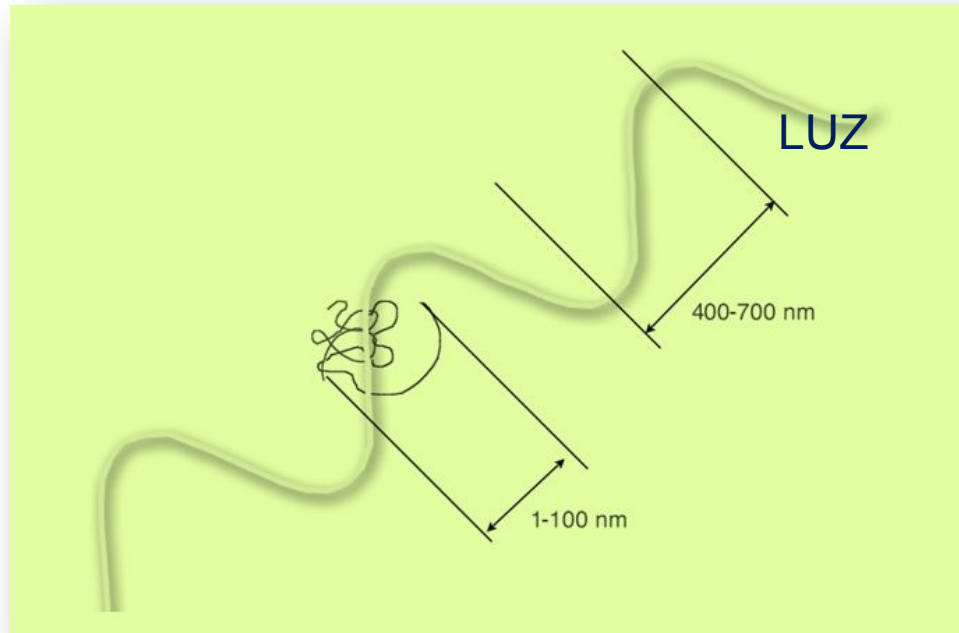


Acetato butirato de  
celulosa (CAB)



# Materiales Amorfos

Los polímeros amorfos son en general traslucidos



# Polímeros Semicristalinos



Polipropileno (PP)



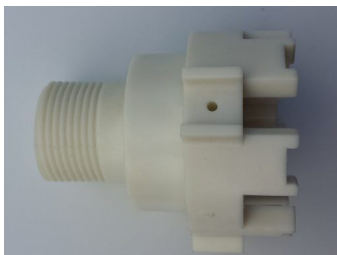
Polietileno (PE)



Poliamida (PA)



Polietilentereftalato  
(PET)



Polibutilentereftalato  
(PBT)



Policarbonato (PC)

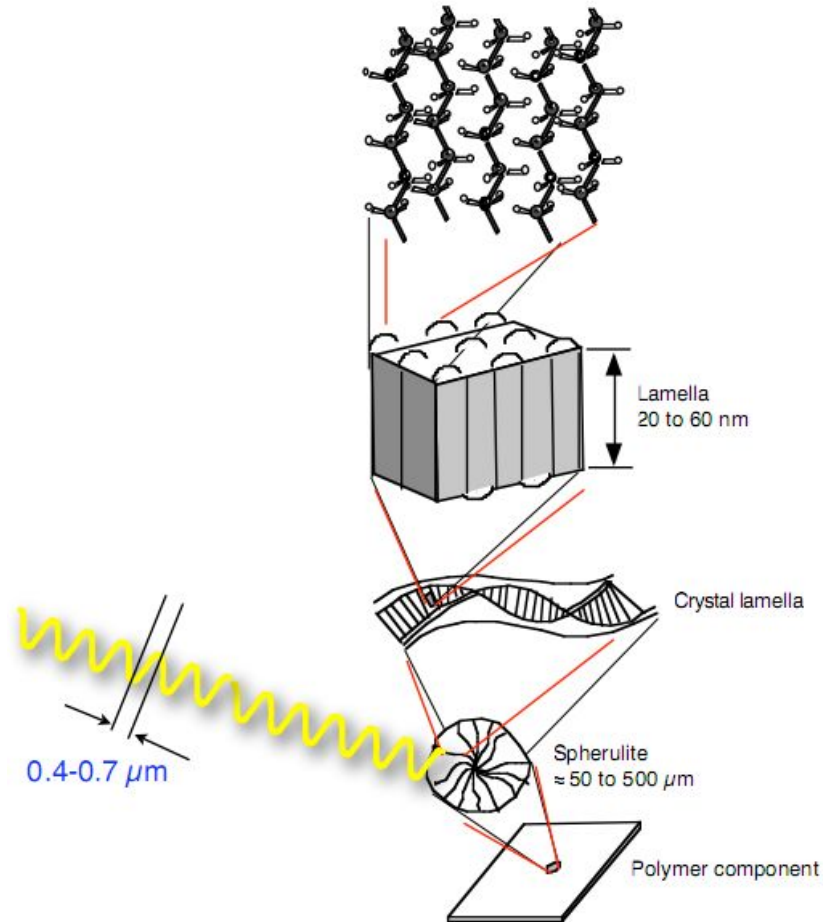


Politetrafluoroetileno  
(PTFE)



Poliuretano (PUR)

# Opacos



# Materiales semicristalinos

<b>Nombre técnico</b>	<b>Elastómero</b>	<b>Duroplástico</b>	<b>Abrev.</b>
<b>Etileno-propileno-metil-dieno</b>	<b>X</b>		<b>EPDM</b>
<b>Caucho natural (Isopreno)</b>	<b>X</b>		<b>NR</b>
<b>Etilen-vinil-acetato</b>	<b>X</b>		<b>EVA</b>
<b>Resinas fenólicas</b>		<b>X</b>	<b>PF</b>
<b>Resinas melamínicas</b>		<b>X</b>	<b>MF</b>
<b>Resinas úrea-formaldehido</b>		<b>X</b>	<b>UF</b>
<b>Resinas poliestéricas no saturadas</b>		<b>X</b>	<b>UP</b>
<b>Poliuretanos</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>PUR</b>
<b>Silicona</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>Si</b>

# Degradación de los Polímeros

## ¿Cuándo ocurre la degradación?

- Etapas de Manufactura y Secado
- Preparación de Compuestos/Peletizado
- Almacenamiento/Despacho
- Procesos de Fabricación
- Aplicaciones y Uso Final
- Procesos de Reciclado

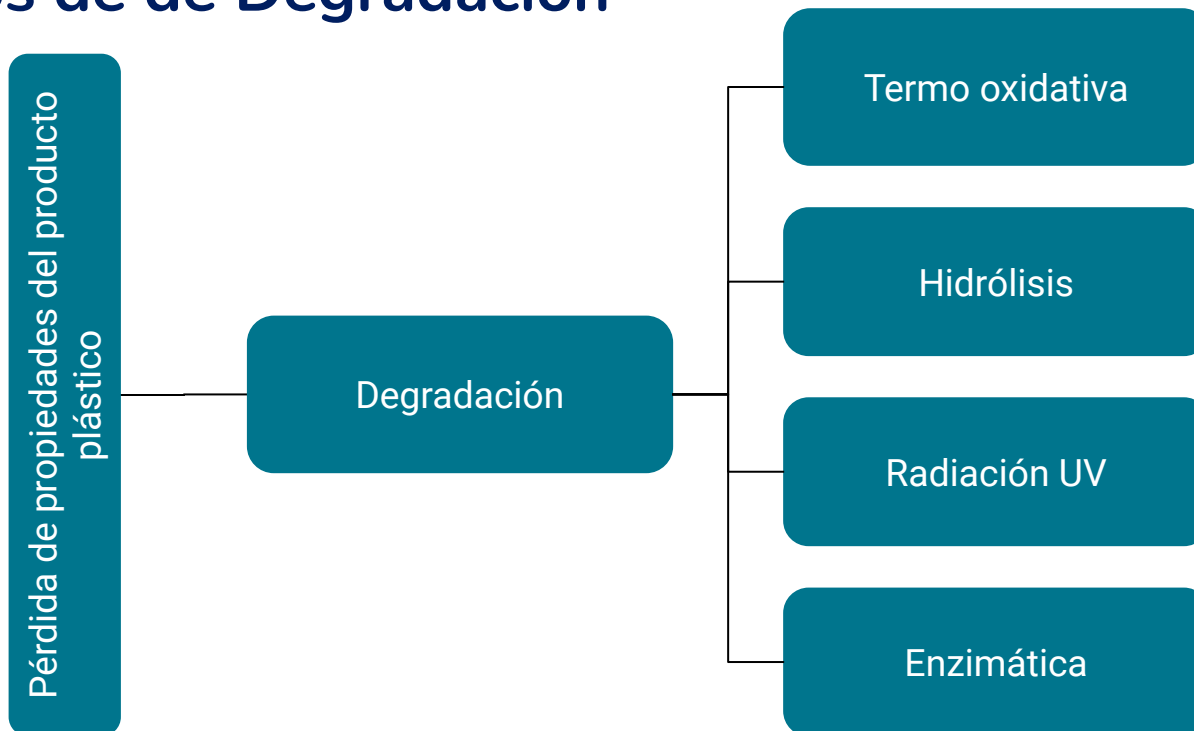
# Degradación de los Polímeros

## Causas de la degradación

- **Relativo a los polímeros y/o a los procesos de producción**
  - Residuos catalíticos
  - Átomos de C-terciario
- **Relativo al proceso**
  - Fuerzas cizallamiento
  - Temperatura
  - Oxígeno
- **Relativo al ambiente**
  - Temperatura
  - Luz
  - Oxígeno, ozono
  - Químicos

# Degradación de los Polímeros

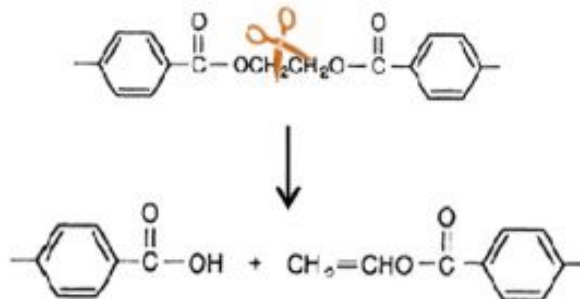
## Tipos de de Degradación



### Reaction extrusion

Thermal degradation

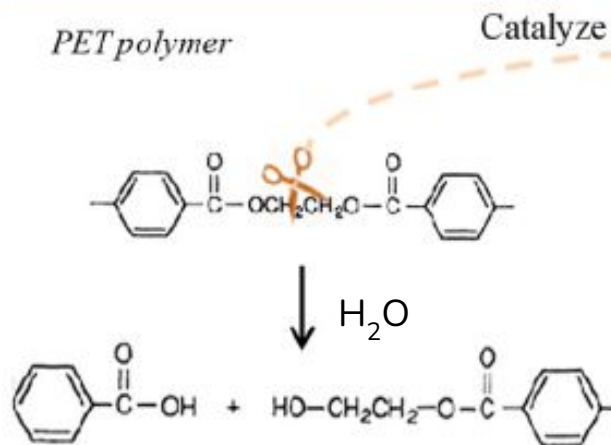
*PET polymer*



*Carboxyl acid and vinyl ester end group*

Hydrolysis reaction

*PET polymer*



*Carboxyl acid and hydroxyl-ester end group*

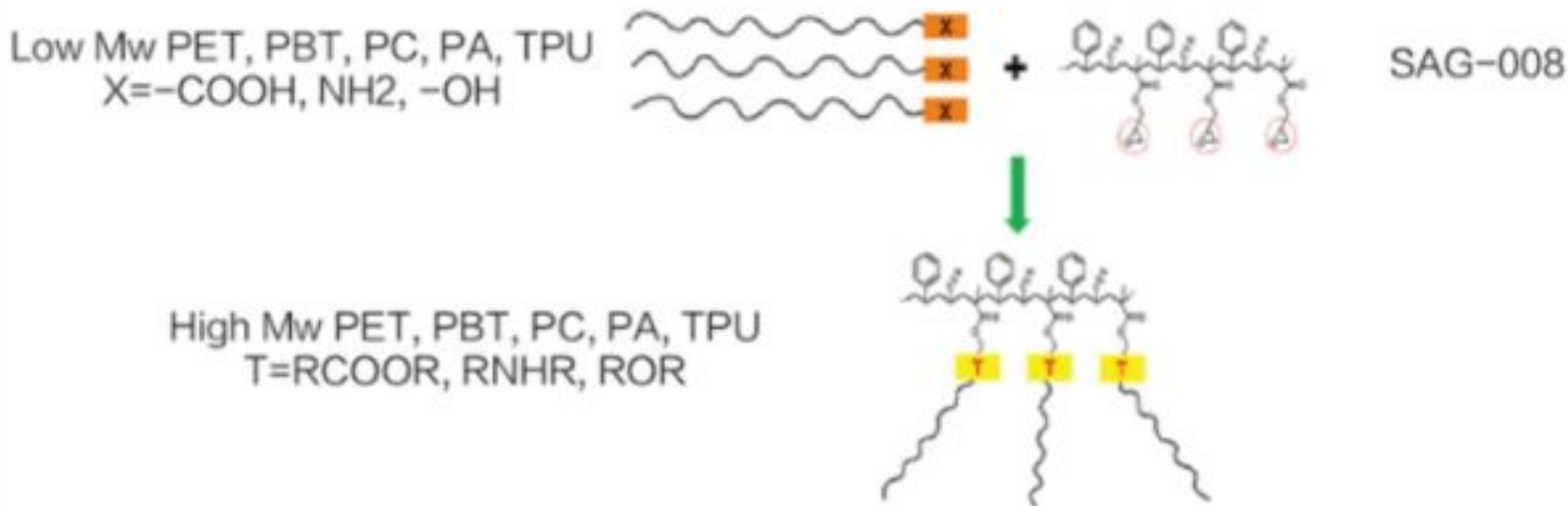
Additive effect





# Degradación de los Polímeros

## Contrarrestando la Degradación con aditivos extendedores de cadena



## Contrarrestando la Degradación con aditivos

31 Jan 2022

Ampacet ThermProtect™ product range reduces recycled PET thermal degradation and yellowing

Ampacet, a global masterbatch leader, has introduced ThermProtect™ PET, a range of rPET stabilizing masterbatches that reduce yellowing due to polymer thermal degradation, enabling processors to increase the content of recycled PET in virgin material without compromising product aesthetics or performance.



- Estabilizador de masterbatches de rPET.
- Reduce el amarillamiento debido a la degradación térmica del polímero.
- Permite a los procesadores incrementar el contenido de rPET sin comprometer la estética o el desempeño del producto.

# Dificultades que causan los contaminantes de PET en el proceso de reciclaje

- A medida que se procesa el PET, varios contaminantes pueden alterar negativamente sus propiedades físicas y químicas.
- Por lo que se debe aplicar un proceso de limpieza riguroso para mantener los requisitos de calidad alimentaria si se utiliza rPET en el reciclaje botella a botella.
- También está la posibilidad de que además ocurra la degradación térmica, ya que el proceso de reciclado implica altas temperaturas durante tiempos prolongados.

Contaminante	Dificultad
Ácidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Varios contaminantes pueden producir ácidos, que a su vez pueden actuar como catalizadores para ruptura de las cadenas (hidrólisis).</li> <li>● Los adhesivos pueden producir colofonia, ácido abiético o acético durante el proceso de reciclaje.</li> </ul>
PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Se puede producir HCl en los casos en que las etiquetas contienen PVC.</li> <li>● A <math>T &lt; 120\text{ }^{\circ}\text{C}</math>, la viscosidad del fundido es afectada negativamente debido a la hidrólisis.</li> <li>● A <math>T &gt; 230\text{ }^{\circ}\text{C}</math>, el HCl resultará en manchas negras en el producto extruido.</li> </ul>
Agua (humedad)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Si hay humedad en el polímero fundido, reaccionará y reducirá la viscosidad drásticamente.</li> <li>● El PET siempre debe secarse antes de su procesamiento.</li> </ul>

# Utilidad de los métodos de caracterización de polímeros reciclados

- Identificación de polímeros y mezclas.
- Identificar degradación del material.
- Control de calidad del producto.
- Determinación de contaminantes.
- Certificaciones de lotes y especificaciones de las muestras.

# Caracterización de material polimérico (virgen o reciclado)

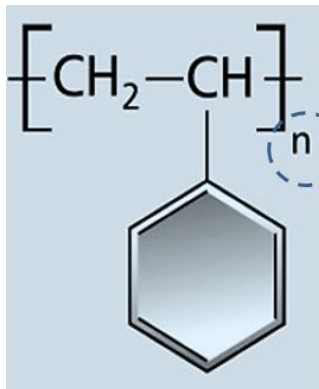
- Reológica
  - Peso molecular.
  - Índice de fluidez (MFI).
  
- Física
  - Densidad.

# Caracterización de material polimérico (virgen o reciclado)

- Química y térmica
  - Composición química (FTIR, TGA).
  - Temperaturas de fusión y de transición vítrea, cristalinidad (DSC).
- Mecánica
  - Resistencia (tensión, compresión, flexión).

# Caracterización reológica

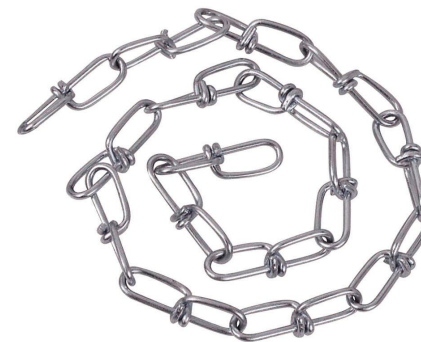
# Peso molecular (MW)



Grado de Polimerización:  
Número de veces que se  
repite la unidad estructural

Asociado a la longitud  
de las cadenas

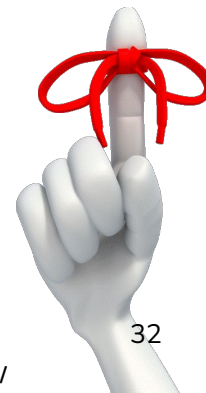
**A mayor longitud de las cadenas:  
mayor MW**



**Alto peso molecular**

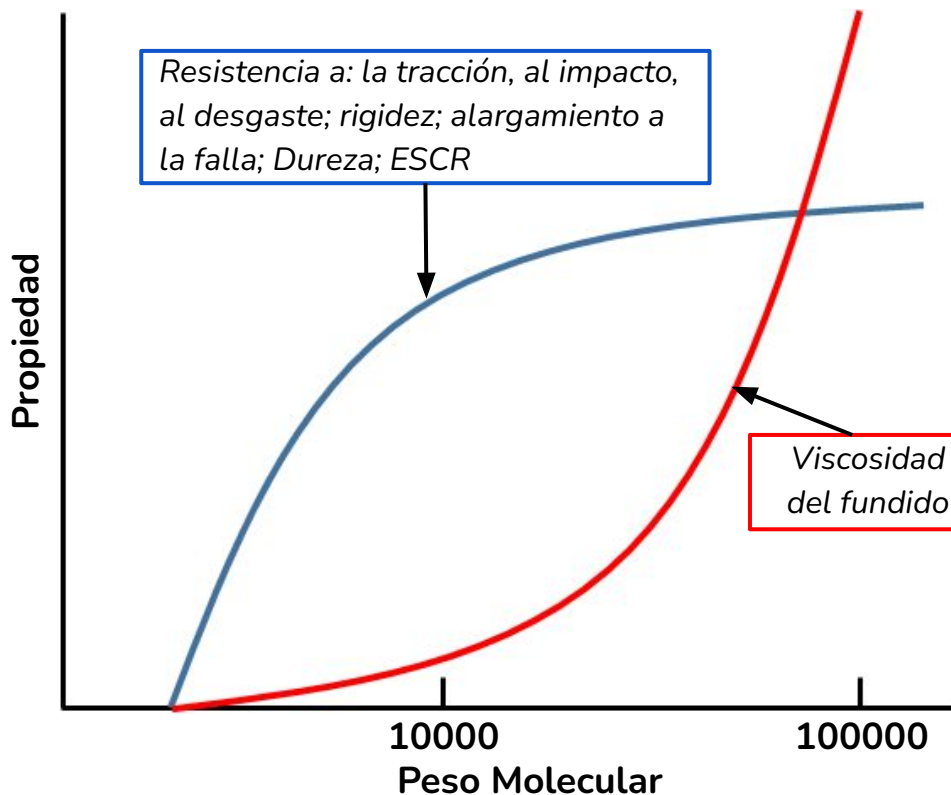


**Bajo peso molecular**





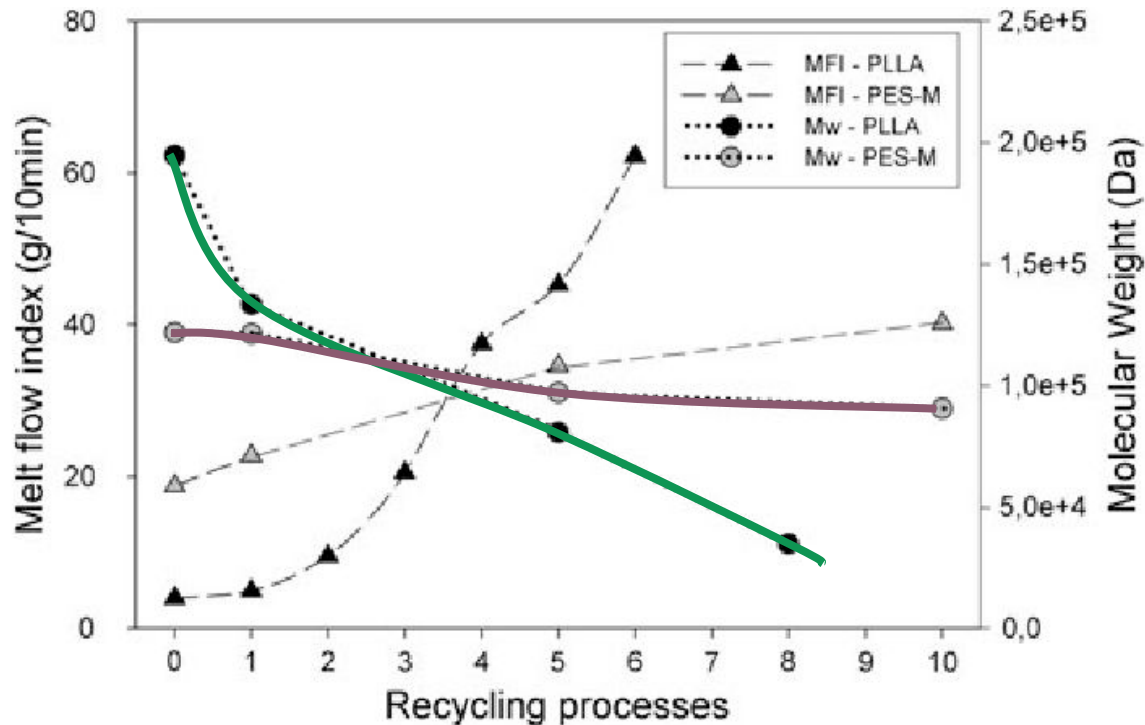
# Peso molecular: ¿Cómo afecta a las propiedades de un polímero?



Las propiedades de un polímero están fuertemente ligadas al MW:

- A partir de cierto MW, el crecimiento de las cadenas no aporta mejoras sustanciales de la resistencia pero dificulta enormemente la procesabilidad.





¡Cada reproceso rompe cadenas!

# Peso molecular

## MW y MWD V.S. MFI

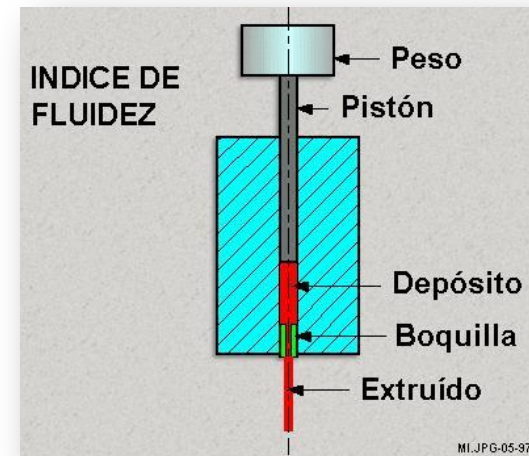
Normas: [ASTM D 1238](#) o ISO 1133

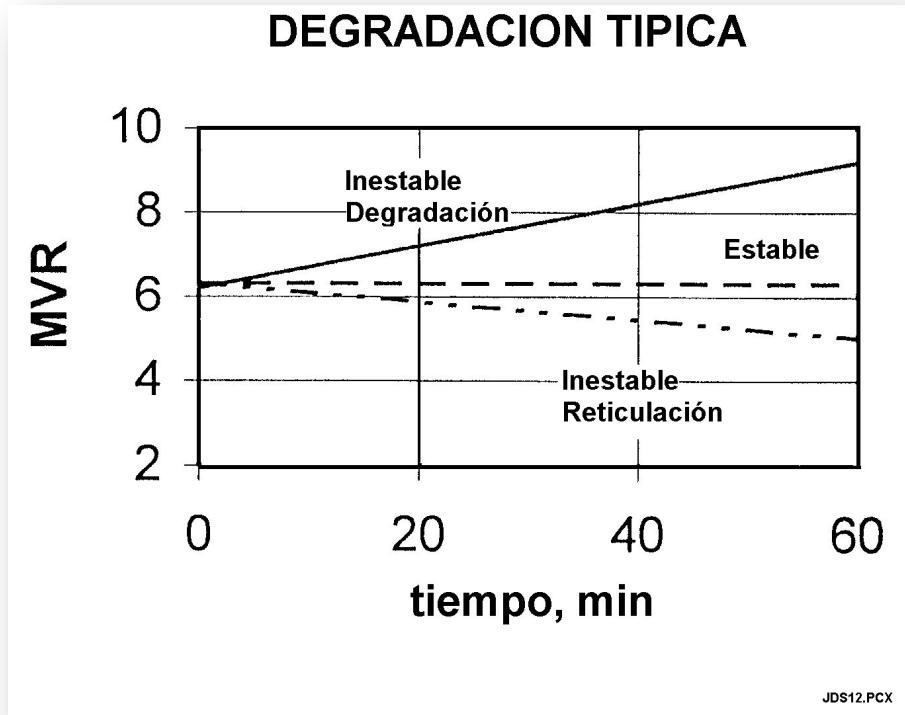
Unidades: [=] g/10 min

**Se debe especificar:** La temperatura y el peso usado para la prueba

MFI  $\uparrow$   $\Rightarrow$  MW  $\downarrow$

MFI  $\uparrow$   $\Rightarrow$  Viscosidad  $\downarrow$

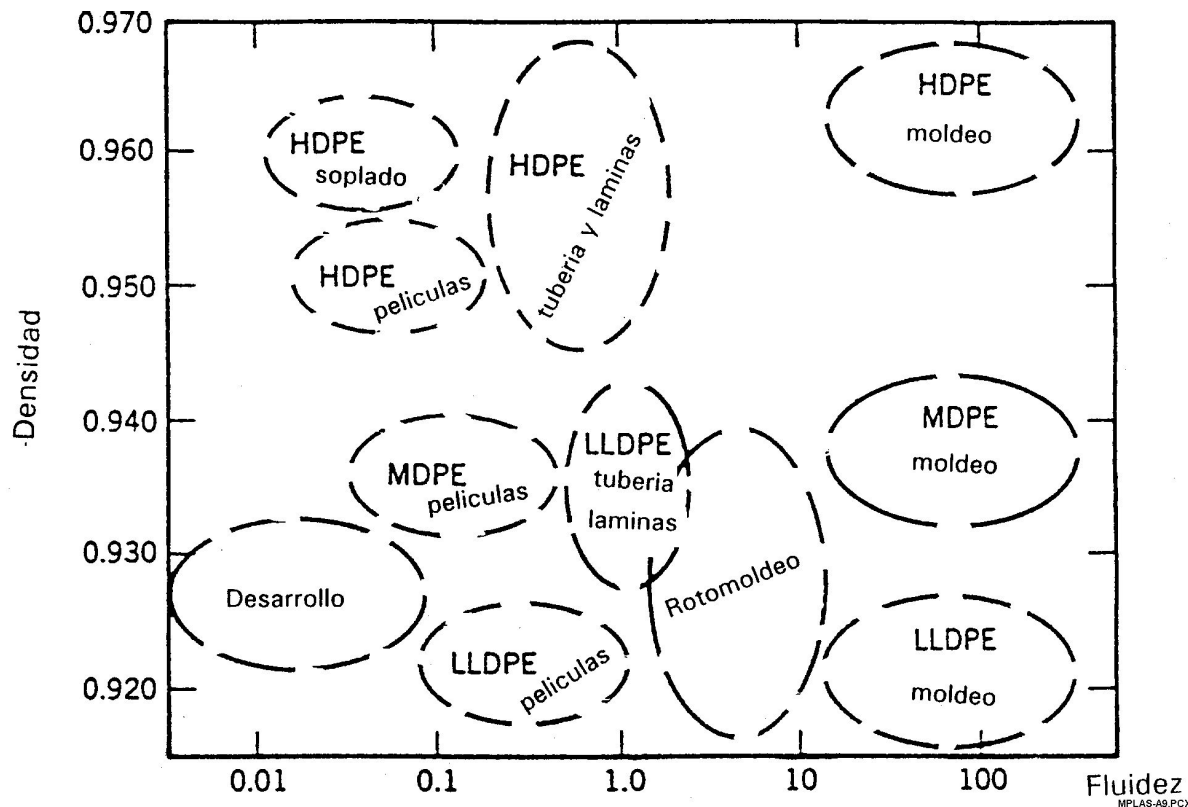


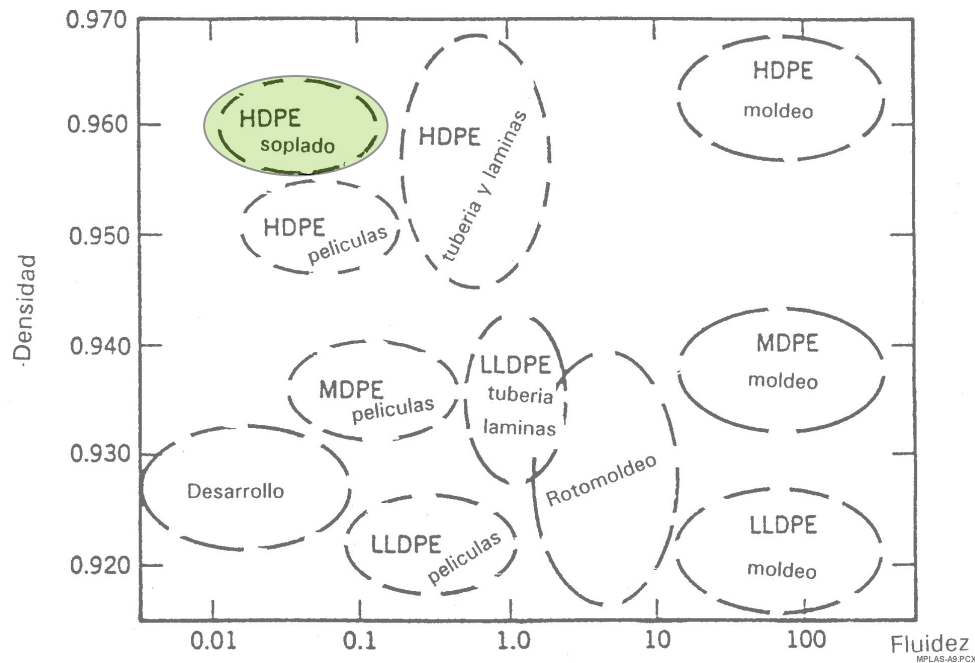


El incremento del MFI puede indicar procesos de ruptura de cadenas

La reducción del MFI puede indicar fenómenos de reticulación

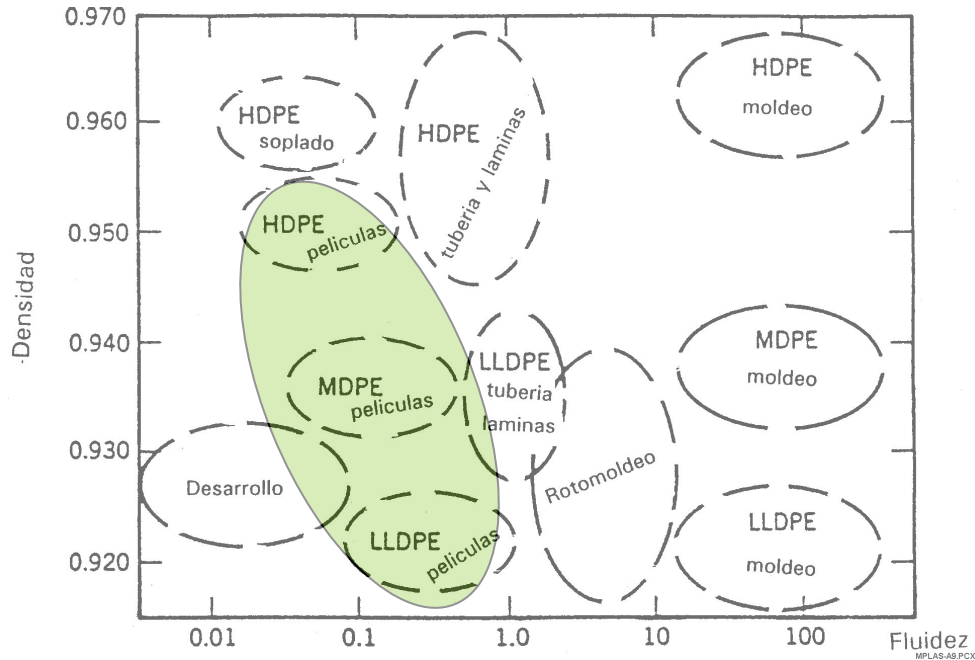
# Aplicaciones de los polietilenos acorde a la densidad y el MFI





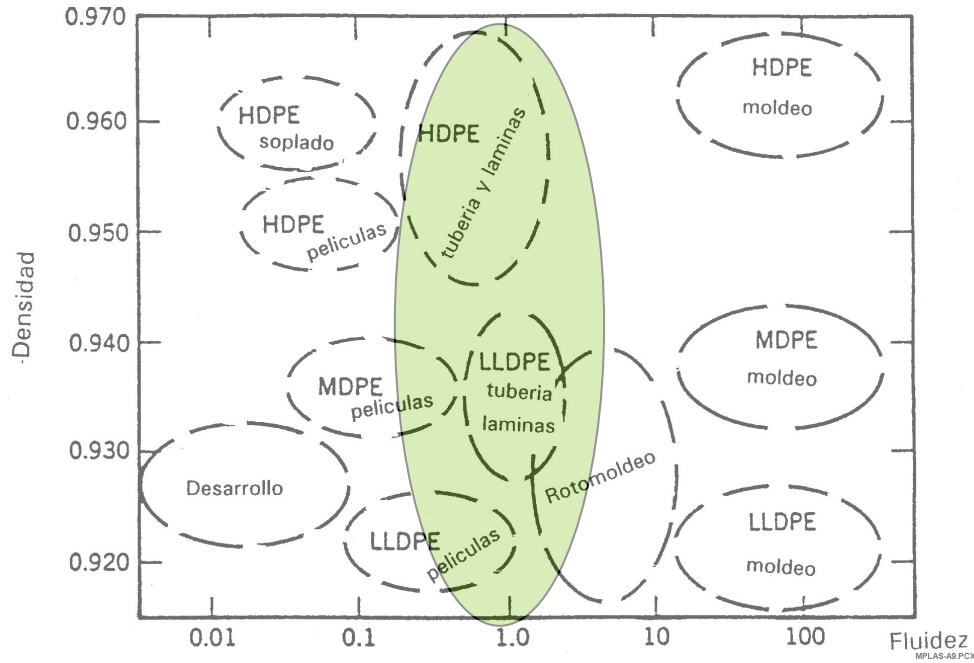
<https://www.youtubeeducation.com/watch?v=-5M-ExVlFSI>

# MFI y aplicaciones: bajo MFI = películas



<https://www.youtubeeducation.com/watch?v=JMFsX8GPjt0>

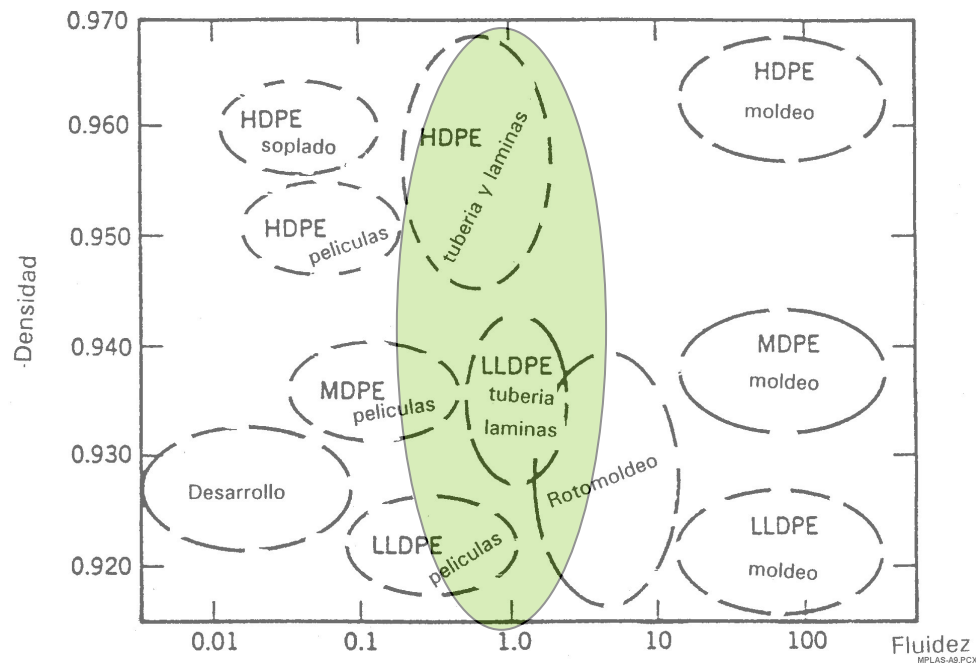
# MFI medio: Perfiles

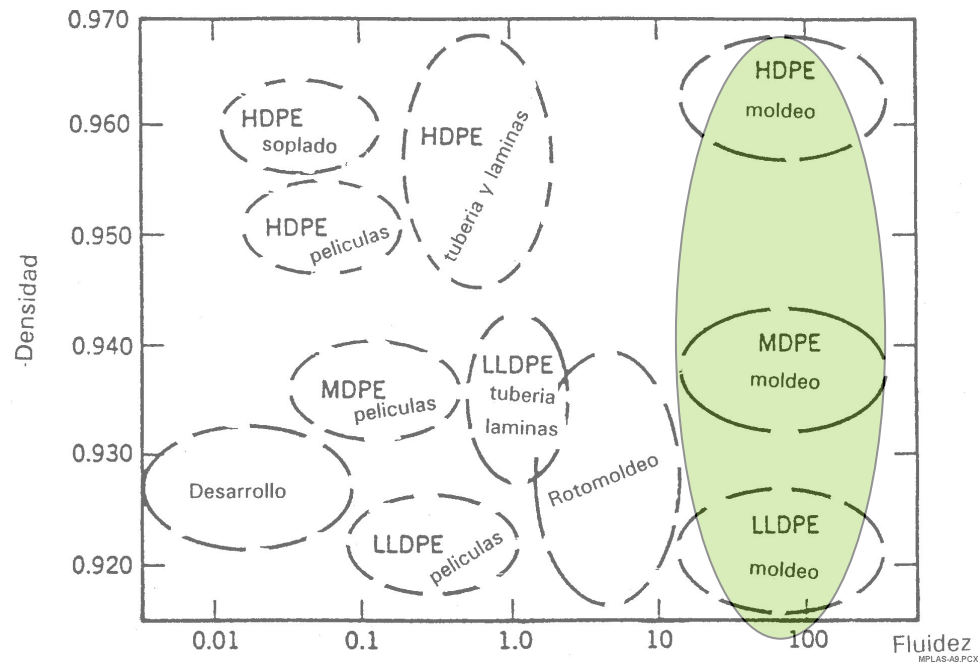




# MFI medio: perfiles

## ¿Qué sucede con MFI muy altos?





- El peso molecular del polímero a través de la relación Mark-Houwink.
- La viscosidad intrínseca (IV) es una medida del peso molecular de los polímeros y, por lo tanto, refleja el punto de fusión, la cristalinidad y la resistencia a la tracción del material.
- Se usa como parte de la especificación para seleccionar el grado correcto de polímero para una aplicación particular.
- Se mide en varios puntos de la cadena de suministro.



	<b>PET</b>	<b>[<math>\eta</math>] (dL.g<sup>-1</sup>)</b>
<b>Fibers</b>	Textiles	0.40 – 0.70
	Techniques	0.72 – 0.98
	bi-oriented	0.60 – 0.70
	Thermoforming	0.70 – 1.00
<b>Bottles</b>	for water	0.70 – 0.78
	for soft drinks	0.78 – 0.85

# Viscosidad intrínseca: PET virgen vs rPET

Sample	$\eta$ (dL/g)	MW (g/mol)
Virgin Preform	0,80	63 728
vePET	0,76	59 355
krPET-1	0,74	57 722
krPET-3	0,63	45 512

# Baja viscosidad intrínseca: textiles



[https://youtu.be/Yhx7-DB-\\_y4](https://youtu.be/Yhx7-DB-_y4)



<https://youtu.be/LYfzl8eciG8>



<https://youtu.be/pJW6IKRLSyk>



# Aplicación del PET reciclado acorde a la fuente

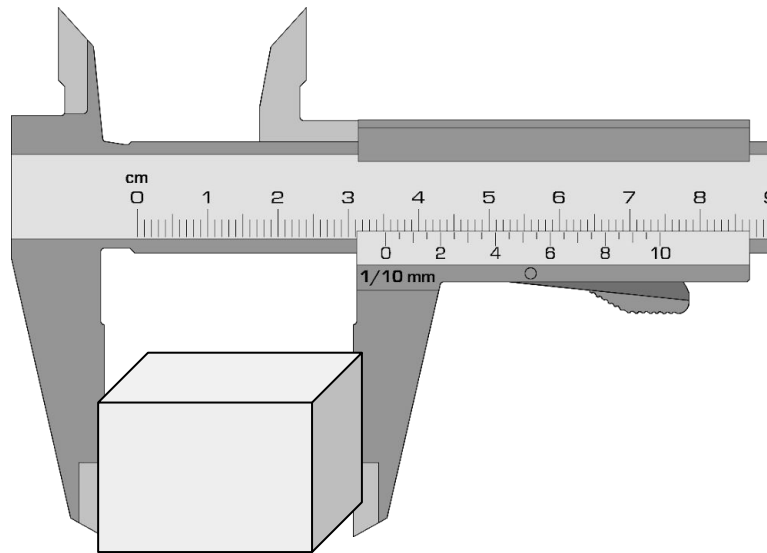
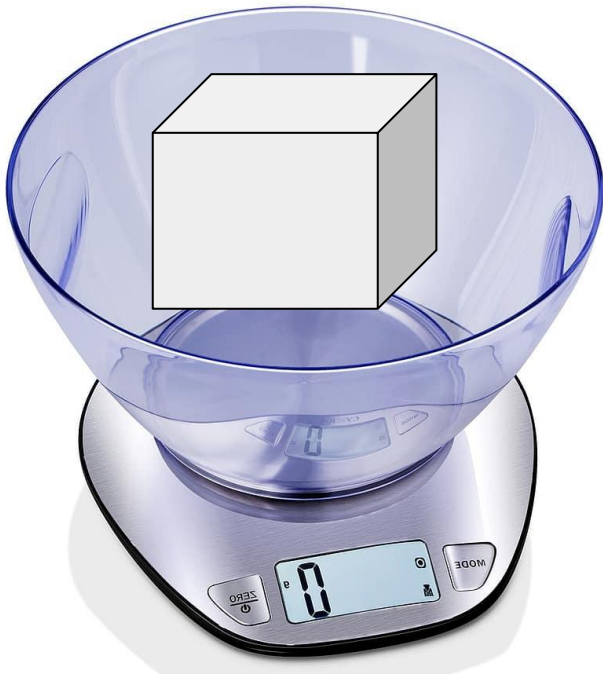
Fuente / aplicación reciclado	Textil	Termoformado	Botella
Textil	✓	✗	✗
Termoformado	✓	✓	✗
Botella	✓	✓	✓

# Caracterización física

# Caracterización Física

## Densidad

Peso de un material por unidad de volúmen:



$$\rho = \frac{\textit{peso}}{\textit{volumen}}$$

# Caracterización Física

## Densidad



Acero:  $7800 \text{ kg/m}^3$



Plásticos alrededor de  
 $1000 \text{ kg/m}^3$



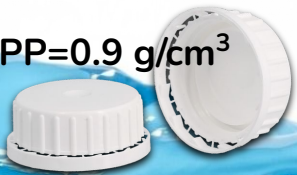
Vidrio:  $2200 \text{ kg/m}^3$



# Caracterización Física

## Densidad

PP=0.9 g/cm<sup>3</sup>



HDPE=0.95 g/cm<sup>3</sup>



LDPE=0.92 g/cm<sup>3</sup>



Agua=1.00 g/cm<sup>3</sup>



PS=1.00 g/cm<sup>3</sup>

PET=1.38 g/cm<sup>3</sup>



PA=1.14 g/cm<sup>3</sup>



ABS=1.07 g/cm<sup>3</sup>



PVC=1.38 g/cm<sup>3</sup>



# Caracterización Física

## Factores que afectan la Densidad



Espumar

$$\text{EPS} = 0.13 \text{ g/cm}^3$$



$$\text{Talco} = 2.7 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{PP} + 30\% \text{ talco} = 1.44 \text{ g/cm}^3$$



Cargas inorgánicas

$$\text{Carbonato de calcio} = 2.7 \text{ g/cm}^3$$

# Caracterización Física

## Disolución de PS expandido en acetona



<https://youtu.be/nrnFpb8hrQ>

# Caracterización química y térmica



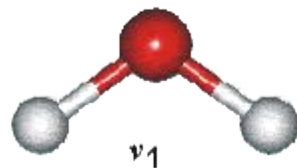
# Caracterización química y térmica

## Espectrometría infrarroja - FTIR

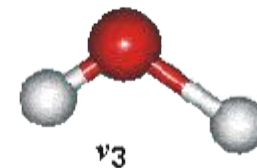
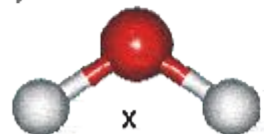
- Utilizada generalmente para identificar un compuesto (estructura química) por la presencia de grupos funcionales.
- Confirmar materiales puros o presencia de contaminaciones.



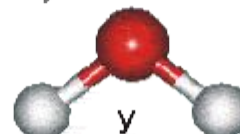
### Modos de vibración



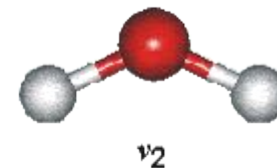
symmetric stretch



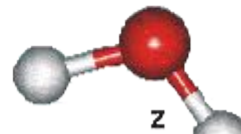
asymmetric stretch

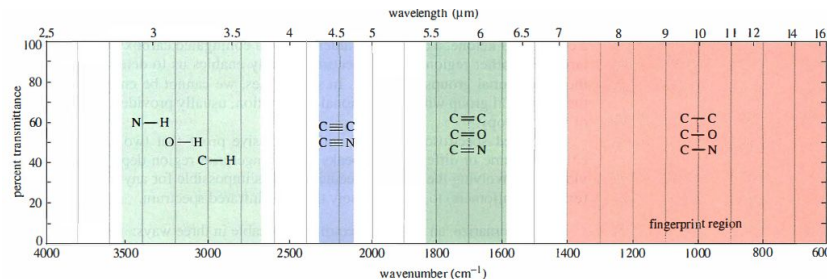


librations

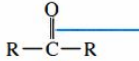
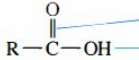
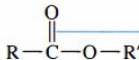
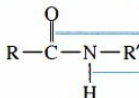
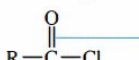
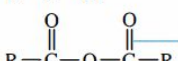



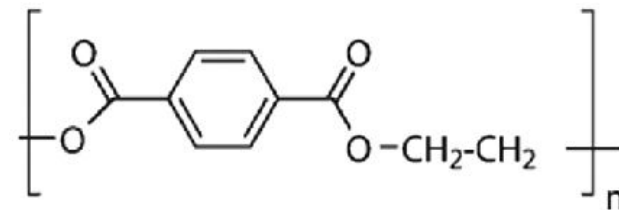
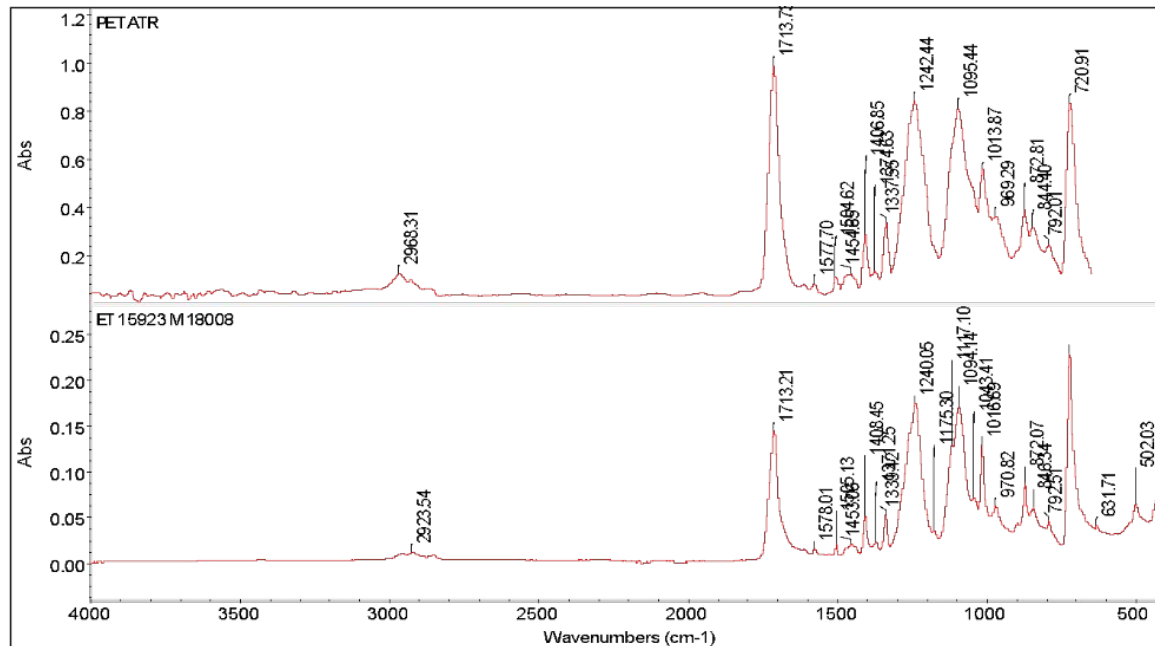
bend





**TABLE 21-3** Characteristic Carbonyl IR Stretching Absorptions

Functional Group	Frequency	Comments
ketone	 C=O, 1710 cm <sup>-1</sup>	lower if conjugated, higher if strained
acid	 C=O, 1710 cm <sup>-1</sup> O-H, 2500–3500 cm <sup>-1</sup>	lower if conjugated broad, on top of C-H stretch
ester	 C=O, 1735 cm <sup>-1</sup>	lower if conjugated, higher if strained
amide	 C=O, 1640–1680 cm <sup>-1</sup> N-H, 3200–3500 cm <sup>-1</sup>	two peaks for R-CO-NH <sub>2</sub> , one peak for R-CO-NHR'
acid chloride	 C=O, 1800 cm <sup>-1</sup>	very high frequency
acid anhydride	 C=O, 1800 and 1750 cm <sup>-1</sup>	two peaks
nitrile	 C≡N, 2200 cm <sup>-1</sup>	just above 2200 cm <sup>-1</sup>



2923 cm<sup>-1</sup> -CH (glicol); 1711 cm<sup>-1</sup> -C=O (éster glicol); 1503 - 1454 cm<sup>-1</sup> -CH (en anillo aromático); 1453 - 1407 cm<sup>-1</sup> -C=C (en anillo aromático); 1239, 1092 cm<sup>-1</sup> -C-O-C- (éster glicol); y 723 cm<sup>-1</sup> benceno fuera del plano.

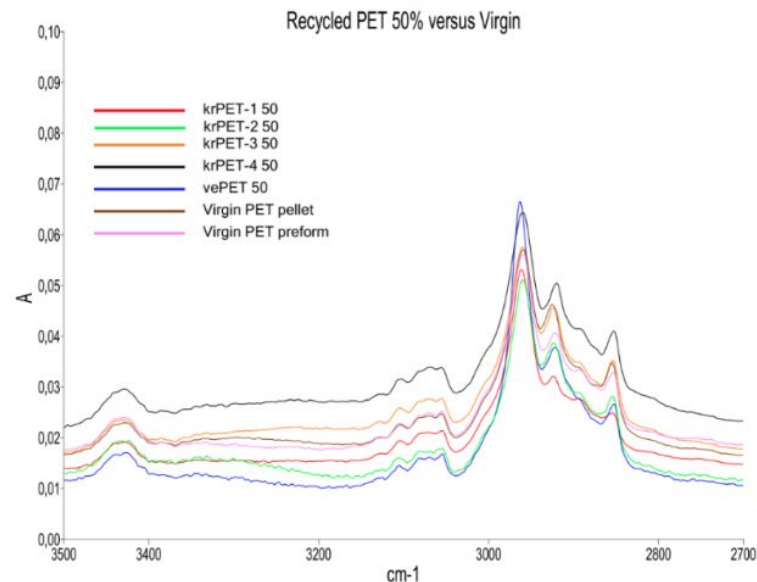
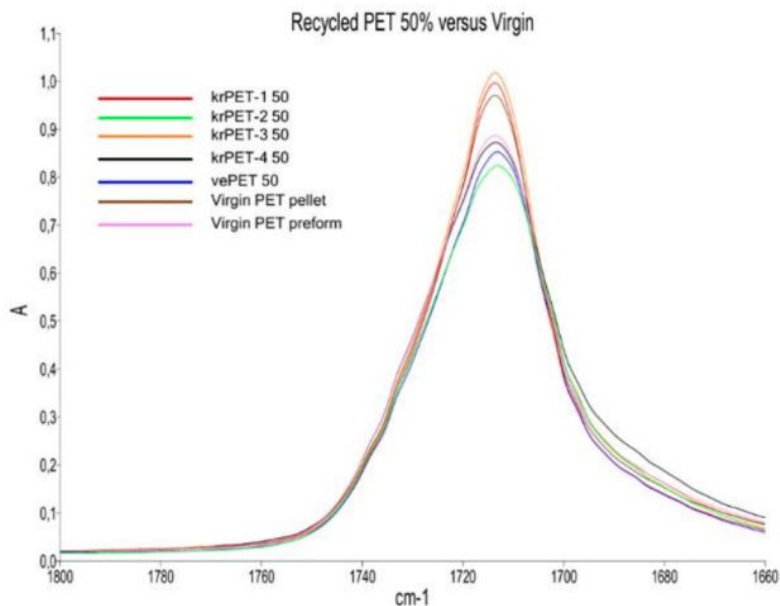
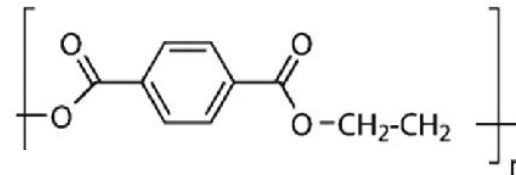


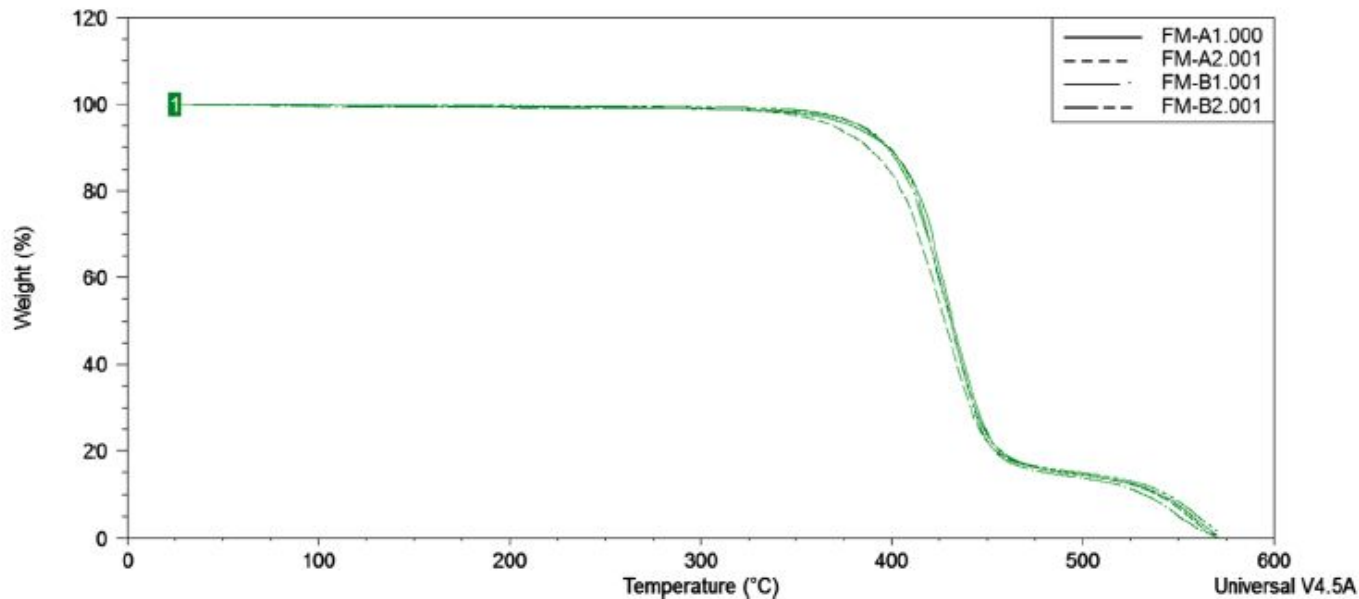
Figure 10: Changes in Carbonyl bond for 50% rPET.

### Análisis Termogravimétrico - TGA

- Es un método de análisis térmico en el cual la masa de una muestra se mide a lo largo del tiempo a medida que cambia la temperatura.
- Se utiliza para analizar las características y composición de los materiales, las tasas de descomposición y evaporación, la oxidación, la pureza del material y muchas otras propiedades.



**Fig. 3** Thermogravimetric analysis of used PET flakes (A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>) and heat-treated samples (A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>)



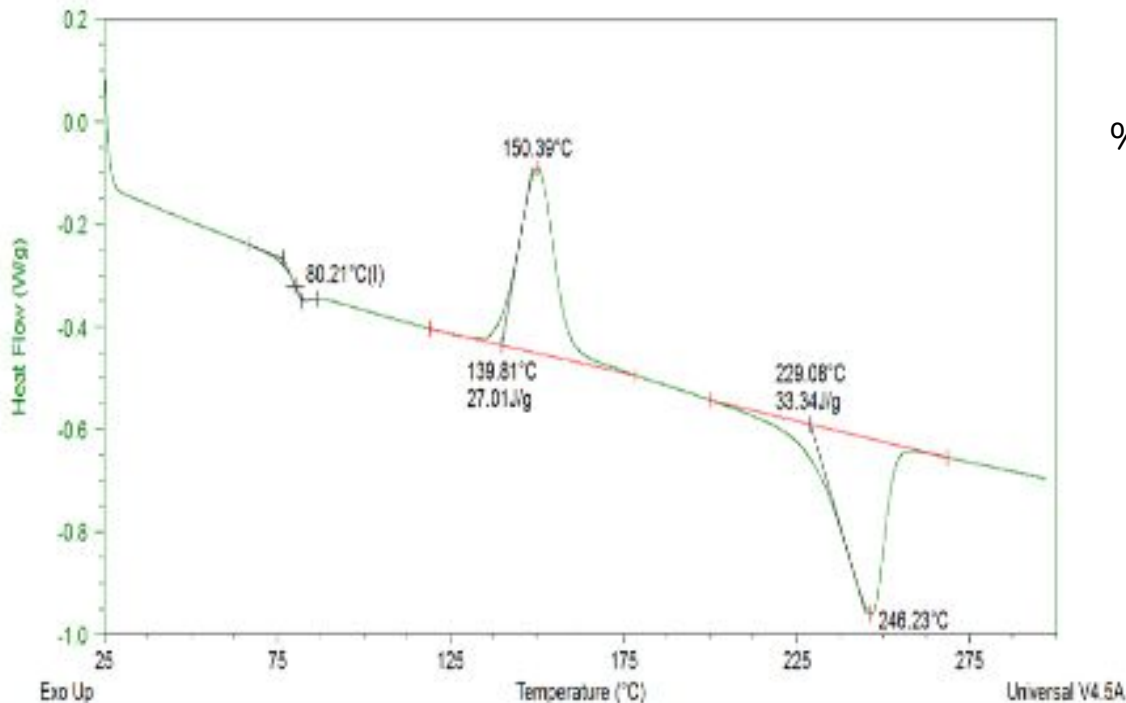
### Calorimetría diferencial de barrido - DSC

- Medida del calor emitido o absorbido por la muestra durante un programa previamente establecido de tiempo-temperatura.
- Permite determinar las propiedades térmicas de un material e identificar posibles mezclas de materiales:
- También las temperaturas de transición vítrea ( $T_g$ ), cristalización ( $T_c$ ) y fusión ( $T_f$ ) y las entalpías de fusión y cristalización de polímeros.
- Basado en la norma ASTM D3418-15.
- Sirve para definir criterios de procesamiento, así como posibles aplicaciones.



Sample: 18330

DSC File: \\labquim4\TA\Cata\DSC\2022\18094.001



$$\% \text{ cristalinidad} = [\Delta H_f - \Delta H_c] / \Delta H_{f_0} * 100$$

$\Delta H_f$  = calor de fusión de la muestra (J/g)

$\Delta H_c$  = calor de cristalización en frío (J/g)

$\Delta H_{f_0}$  = calor de fusión de referencia si el polímero fuera 100% cristalino, para el RPET  $\Delta H_{f_0} = 140$  J/g



## Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) PET virgen vs rPET

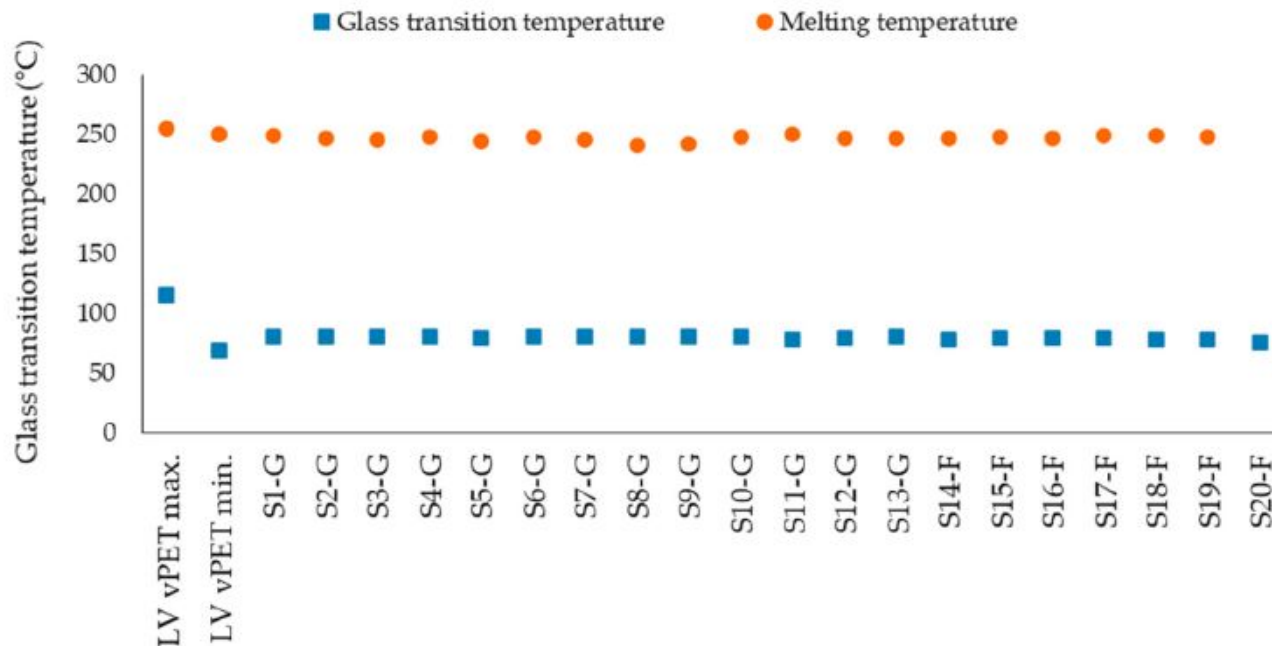


Figure 4. Thermal properties of rPET samples in comparison with literature values for vPET.

# Propiedades mecánicas

# Propiedades Mecánicas

## Definiciones Importantes

- **Esfuerzo**

Fuerza por unidad de área ("Stress").

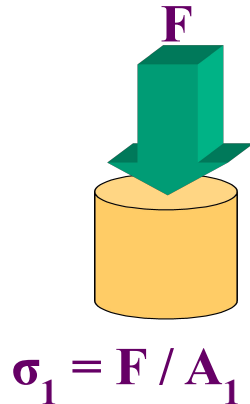
- **Deformación:**

Medida del cambio de forma experimentado por un cuerpo ("Strain").

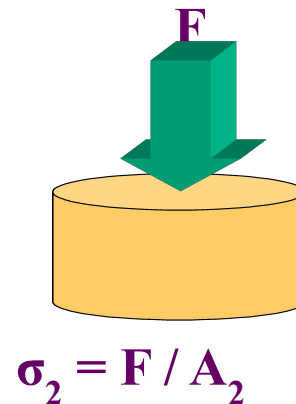
- **Velocidad de Deformación:**

Cambio en la deformación en el tiempo ("Deformation rate")

- Porción de la fuerza referida al área unitaria en el plano escogido, medida antes de la deformación del cuerpo, se conoce como Esfuerzo.
- *Tipos esfuerzos:* tensión, compresión, flexión, torsión y cizalladura (o cortante).



$$\sigma_1 \gg \sigma_2$$



# Definición de deformación

- Para deformaciones longitudinales pequeñas, se usa la definición de ingeniería:

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

- Para grandes deformaciones, se usa la relación de estiramiento

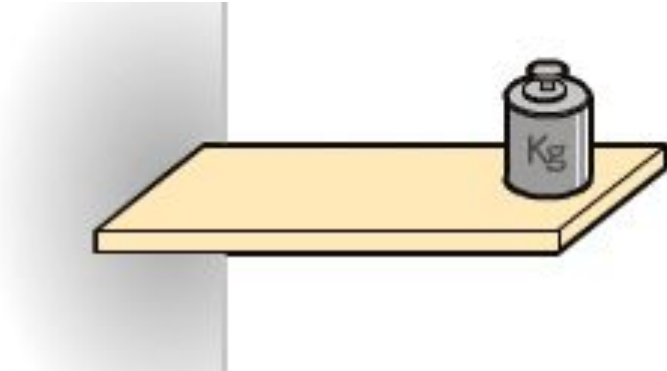
- Relación entre  $\lambda$  y  $\varepsilon$ :

$$\lambda = \frac{L}{L_0}$$

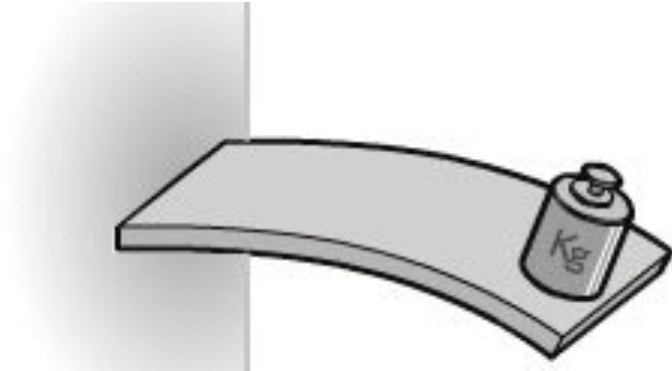
$$\lambda = \frac{L}{L_0} = 1 + \varepsilon$$

# Rigidez

Resistencia de un material a ser deformado

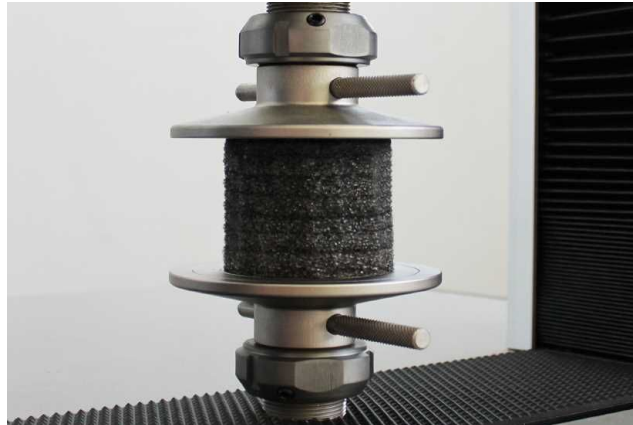


Rígido



Maleable o flexible

- Medida del grado de rigidez del material
- Si se divide por 1000, es el esfuerzo que debe aplicarse para deformar 0.1% el material.
- Su valor es diferente si se mide a tensión, compresión o flexión.



## Valores de referencia de Módulo de rigidez o módulo de Young

Acero: 210.000 MPa

PS: 2.500 MPa

Vidrio: 70.000 MPa

PP: 1.300 MPa

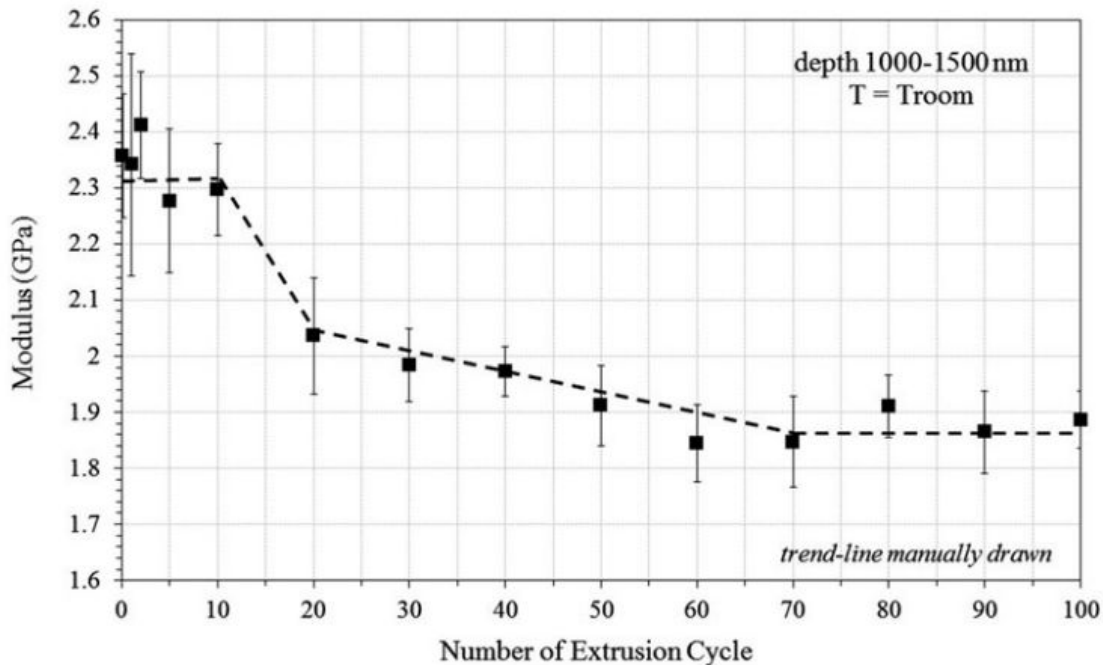
Aluminio: 70.000 MPa

LDPE: 250 MPa

PET: 3.000 MPa

PMMA: 2.800 MPa

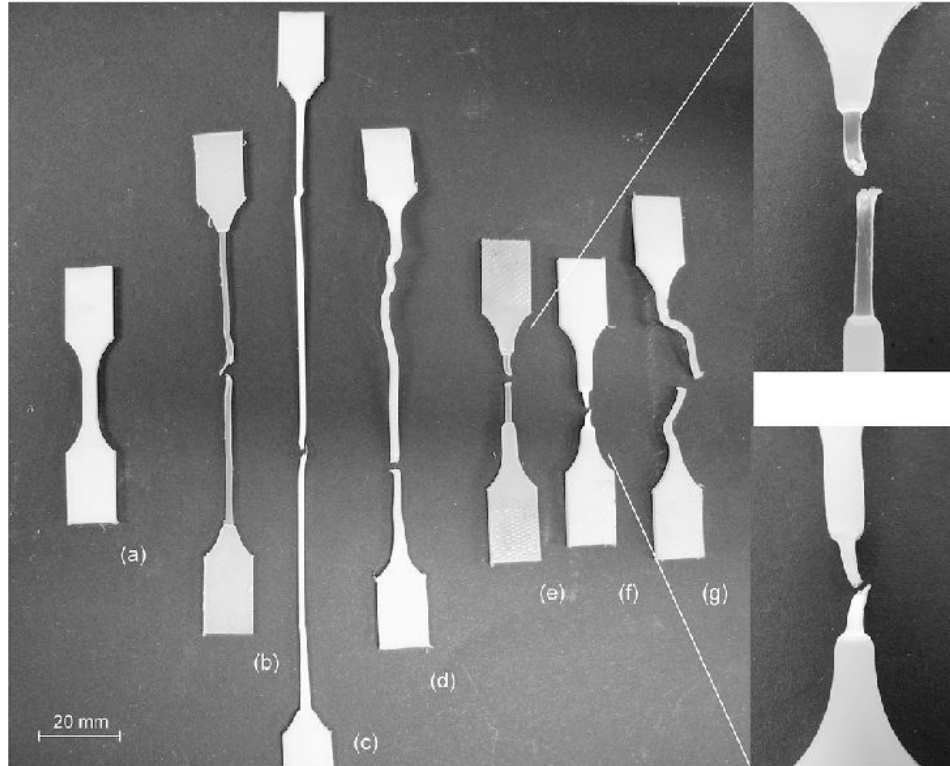




P. Oblak et al, Mechanical Properties of Extensively Recycled High Density Polyethylene (HDPE), Materials Today: Proceedings, Volume 3, Issue 4, 2016.

# DUCTILIDAD

Capacidad de un material para deformarse antes de fallar

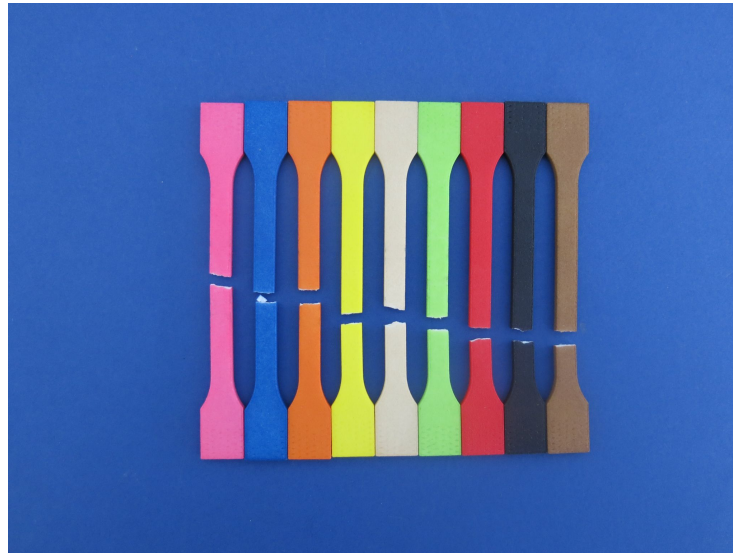


## Prueba de doblado



Tome la pieza e intente realizar el doblado de la misma. ¿Se rompe en dos o más piezas?

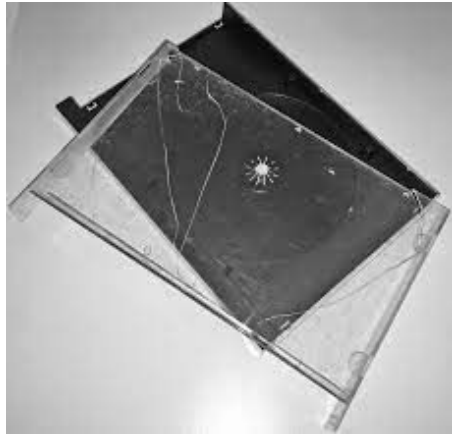
Se refiere al esfuerzo máximo que soporta un material antes de fallar.



Ácero: 500 MPa

Polymer Type	Ultimate Tensile Strength (MPa)
ABS	40
ABS + 30% Glass Fiber	60
Acetal Copolymer	60
Acetal Copolymer + 30% Glass Fiber	110
Acrylic	70
Nylon 6	70
Polyamide-Imide	110
Polycarbonate	70
Polyethylene, HDPE	15
Polyethylene Terephthalate (PET)	55
Polyimide	85
Polyimide + Glass Fiber	150
Polypropylene	40
Polystyrene	40

Energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto



Frágil



Tenaz

# Propiedades mecánicas de PET virgen vs rPET

- La cristalinidad afecta la transparencia, la densidad, la ductilidad, la dureza.
- % cristalinidad: rPET > vPET.
- Rigidez: rPET < vPET.
- Ductilidad: rPET > vPET.

# Plásticos - reciclado de botellas de tereftalato de polietileno (PET) postconsumo

Preparación de especímenes y determinación de propiedades basado en la norma ISO 12418-2:2012



Características	Unidad	Método de ensayo	Notas
<b>Ítems Mandatorios</b>			
Forma		Examinación visual	Escamas, pellets o polvo
Color		Examinación visual	Natural o coloreado
Tamaño máximo de escama	mm		Determinado por el tamaño de la malla en el molino
Tamaño máximo de pellet	mm		Determinado por la apertura del dado de la peletizadora y medido con regla o pie de rey
Viscosidad Intrínseca (IV)	dl/g	ISO 1628-5 en combinación con ISO 1628-1 (incluyendo su adición ISO 1628-1:2009/Amd 1)	El solvente debe ser una mezcla de fenol y 1,1,2,2,-tetracloroetano (6:4)
Contaminación debida a etiquetas y otros contaminantes visibles	mg/kg	Anexo A	Sólo para escamas
Contaminación debida a PVC	mg/kg	Anexo A	Sólo para escamas
Contaminación debida a poliolefinas, y adhesivos	mg/kg	Anexo A	Sólo para escamas
Contenido de agua	%	ISO 15512:2008, Método B	
Densidad de empaque	kg/m <sup>3</sup>	Anexo B	
<b>Ítems Opcionales</b>			
Velocidad de Flujo del volumen fundido (MVR)	cm <sup>3</sup> /10 min	Anexo C	-
Alcalinidad	pH	Anexo D	Sólo para escamas
Filterabilidad	10 MPa/h/cm <sup>2</sup>	EN 15348:2007, Anexo F	



<p><b>Objetivo</b></p>	<p>Determinación de las siguientes impurezas en las escamas de Polietilen Tereftalato (PET) reciclado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Piezas de etiquetas y otros contaminantes visibles</li> <li>● Policloruro de vinilo (PVC)</li> <li>● Poliolefinas (POs) y adhesivos.</li> </ul>
<p><b>Materiales y Equipos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Horno con circulación de aire forzado, capaz de mantener la temperatura a 220°C.</li> <li>● Balanza técnica capaz de pesar con una precisión de 0,1 g.</li> <li>● Balanza analítica, capaz de pesar con una precisión de 0,0001 g.</li> <li>● Espátula, de madera o metal.</li> <li>● Pinzas.</li> <li>● Bandeja, de aluminio o de hierro esmaltado, con fondo de superficie no inferior a 0,05 m<sup>2</sup>.</li> </ul>

## Procedimiento Experimental

1. Pesar, con una precisión de 0,1 g, aproximadamente 100 g de muestra y registrar la masa ( $m_0$ ).
2. Extender uniformemente sobre el fondo de la bandeja de metal.
3. Revuelva las escamas lentamente en la bandeja con una espátula y retire los trozos de etiqueta y otros contaminantes visibles utilizando las pinzas. Continuar este procedimiento durante no menos de 30 min.
4. Pesar los trozos de etiqueta y otros visibles contaminantes extraídos ( $m_1$ ), utilizando una balanza analítica.
5. Introducir la bandeja con el resto del material en un horno, precalentado a 220 °C, y dejarlo a esa temperatura durante 1 h.
6. Retirar la bandeja, deje enfriar e inspeccione el material por no menos de 30 min, de la siguiente manera:
  - a) escoja las partículas carbonizadas negras (PVC). Pesar las partículas extraídas ( $m_2$ ), utilizando una balanza analítica.
  - b) Retirar las partículas amarillentas (POs y adhesivo). Si están pegados a escamas de PET, sepárelas. Pesar las partículas extraídas ( $m_3$ ), utilizando una balanza analítica.
7. Realizar los cálculos y expresar la concentración en partes por millón (ppm).



# Ensayos para determinar las impurezas en escamas



GLOBAL QUALITY  
AND STANDARDS PROGRAMME

ICIPC® Resultados

Donde 
$$\text{Content of label and other visible contaminants} = \frac{m_1 \times 10^6}{m_0}$$

$m_1$  es la masa de la etiqueta y otros contaminantes visibles, en g;  
 $m_0$  es la masa de la porción inicial de muestra, en g.

Donde 
$$\text{PVC content} = \frac{m_2 \times 10^6}{m_0}$$

$m_2$  es la masa de las partículas decoloradas (o negras), en g;  
 $m_0$  es la masa de la porción inicial de muestra, en g.

$$\text{PO content} = \frac{m_3 \times 10^6}{m_0}$$

Donde

$m_3$  es la masa de las partículas amarillentas, en g;  
 $m_0$  es la masa de la porción inicial de muestra, en g.

## Reporte de Resultados

El informe del ensayo deberá incluir la siguiente información:

- a) Una referencia a esta parte de la Norma ISO 12418 (ISO 12418-2);
- b) todos los detalles necesarios para la identificación de la muestra analizada;
- c) los resultados de la prueba;
- d) detalles de cualquier operación adicional realizada o cambios realizados en el procedimiento;
- e) la fecha de la prueba.

Table 1 — Test portion

Expected water content, $w$ % by mass	Mass of test portion, $m$ g
$w > 1$	$0,2 > m \geq 0,1$
$1 \geq w > 0,5$	$0,4 > m \geq 0,2$
$0,5 \geq w > 0,1$	$1 > m \geq 0,4$
$0,1 \geq w$	$m \geq 1$

$$w = \frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{test portion}}} \times 10^{-4}$$

Donde:

$m_{\text{agua}}$  es la masa, expresada en microgramos, de agua que se encuentra en la porción de ensayo;

$m_{\text{porción de prueba}}$  es la masa, expresada en gramos, de la porción de prueba.



# Método para la determinación de la densidad de empaque de escamas de PET

<b>Objetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● El objetivo del ensayo es calcular la densidad de empaque de escamas de RPET. Esta metodología está basada en el anexo B de la Norma ISO 12418 (ISO 12418-2).</li></ul>
<b>Materiales y Equipos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Un recipiente cilíndrico de dimensiones aproximadas de 120 mm de diámetro y 150 mm de alto, con un borde suave.</li><li>● Regla. Para remover la muestra que quede rebosando el borde del recipiente.</li><li>● Balanza técnica capaz de pesar con una precisión de 0,1 g.</li><li>● Pala añadir la muestra al recipiente.</li></ul>

## Procedimiento Experimental

1. Tomar suficiente muestra que permita llevar a cabo tres (3) determinaciones.
2. Pesar el recipiente cilíndrico de volumen conocido ( $m_{c1}$ ).
3. Llenar el recipiente con escamas de PET hasta que rebose.
4. Golpear el borde del recipiente tres veces y nivelar el contenido a través del borde del recipiente usando una regla.
5. Pesar el contenido de PET ( $m_{c2}$ ) en el recipiente.
6. Repetir el anterior procedimiento dos veces más hasta completar tres mediciones.





# Método para la determinación de la densidad de empaque de escamas de PET

ICIPC® Resultados

$$\rho_e = \frac{m_{c2} - m_{c1}}{V} \times 10^3$$

Donde:

$\rho_e$  es la densidad de empaque, en kg/m<sup>3</sup>.

$m_{c1}$  es la masa del recipiente, en g.

$m_{c2}$  es la masa de la muestra y el recipiente, en g.

V es el volumen del recipiente en cm<sup>3</sup>. Se calcula a partir de la fórmula del volumen de un cilindro de dimensiones conocidas:  $V = \pi r^2 \times h$  (r= radio; h = altura).

## Reporte de Resultados

El informe del ensayo deberá incluir la siguiente información:

- Una referencia al anexo B de la Norma ISO 12418 (ISO 12418-2);
- todos los detalles necesarios para la identificación de la muestra analizada;
- los resultados de la prueba;
- detalles de cualquier operación adicional realizada o cambios realizados en el procedimiento;
- la fecha de la prueba.

# Método para la determinación de la alcalinidad residual en las escamas de PET

<b>Objetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Este método tiene como objetivo la determinación de la alcalinidad residual en PET reciclado. Se basa en el Anexo D de la Norma ISO 12418-2.</li></ul>
<b>Materiales y Equipos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Agitador magnético o agitador mecánico.</li><li>● Balanza técnica capaz de pesar con una precisión de 0,1 g.</li><li>● Vaso de precipitados de capacidad de 1000 ml.</li><li>● Probeta graduada de 500 ml.</li><li>● Kit de pHmetro con electrodo de vidrio y soluciones buffer.</li><li>● Agua destilada, con un pH entre 6 y 8.</li></ul>

# Método para la determinación de la alcalinidad residual en las escamas de PET

<b>Procedimiento Experimental</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Para este método primero se calibra el potenciómetro (pHmetro) con las soluciones buffer del kit del instrumento.</li><li>● Se pesan aproximadamente 100 gramos de muestra en un vaso de precipitados de 1000 ml al que se le añaden 500 ml de agua destilada.</li><li>● La solución se agita durante 10 min, asegurándose de que todo el RPET quede completamente cubierto por el agua.</li><li>● Después de la agitación se decanta la solución para separar el RPET y se sumerge el sensor del pHmetro en el líquido, cuando se estabiliza la lectura, se registra dicho valor de pH.</li></ul>
<b>Resultados y Reporte de Resultados</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Se reportan los resultados en una tabla, donde se comparan con los datos de pH que se midieron al agua destilada (como blanco o referencia) previo a mezclarla con cada muestra y el valor del pH de cada muestra.</li><li>● Se reporta igual que el anterior.</li></ul>

# ¿Qué aprendimos hoy?

1. ¿Cual fuente de PET tiene mayor valor para ser reciclado por el número de aplicaciones en las que puede usarse?
  - A. PET botella
  - B. PET textil
  - C. PET de bandejas para alimentos

2. Las etiquetas de PVC pueden separarse por flotación en el agua de las botellas de PET.

- A. Verdadero
- B. Falso



# ¿Qué aprendimos hoy?



3, El reciclaje puede:

- A. Disminuir el MFI
- B. Aumentar el MFI
- C. Cualquiera de los dos



INSTITUTO DE  
CAPACITACIÓN  
E INVESTIGACIÓN  
DEL PLÁSTICO Y  
DEL CAUCHO



# ¡Gracias!

Dra. Sonia Esperanza Reyes Gómez

[sreyes@icipc.org](mailto:sreyes@icipc.org)

Carrera 49 #5 Sur 190. Bloque 37

+574 3116478

Medellín, Colombia

[icipc@icipc.org](mailto:icipc@icipc.org) - <https://icipc.org>



@ICIPCmedellin



@ICIPC



@ICIPC\_Medellin



@ICIPC