

CAPÍTULO 4

CARACTERIZACIÓN DEL EVA (ETIL VINIL ACETATO) RECICLADO

4.1. PROPIEDADES FÍSICAS

4.1.1. DENSIDAD

La densidad de una muestra de material se define como la cantidad de masa del material para un volumen determinado de dicha muestra, y generalmente las unidades de masa son gramos (g) y las unidades de volumen centímetros cúbicos (cm³) o mililitros (ml).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

Los polímeros son un grupo amplio y las densidades varían en función del tipo de polímero. Así, los polímeros hidrocarburoados, formados por carbono e hidrógeno son los de menor densidad (entre 0.85 y 0.95 g/cm³) mientras que cuanto más pesados son los átomos que aparecen en los enlaces constitutivos mayor será la densidad del polímero.

La densidad de un cuerpo está relacionada con su flotabilidad, una sustancia flotará sobre otra si su densidad es menor; basados en este principio se pudo determinar la densidad del EVA extruido como se describe a continuación:

El primer paso a realizar fue determinar la masa de las muestras con la ayuda de la balanza.

Luego, para hallar sus volúmenes, en una probeta graduada y con una apreciación de 0.1 cm³ (ml) se llena la probeta con 10 cm³ de agua destilada. Posteriormente se sumerge la muestra de EVA en el agua y se observa cuál es el volumen desplazado. Dicho volumen desplazado corresponderá al volumen de la muestra.

Durante el desarrollo del ensayo la temperatura ambiente se mantuvo constante a: 23°C.

A continuación se detallan los resultados obtenidos a partir del ensayo realizado:

Tabla 4.1 Densidad del EVA de desecho extruido

Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
0.259	0.2	1.30
0.300	0.3	1.00
0.289	0.3	0.96
0.203	0.2	1.02
0.221	0.2	1.10

Se puede observar que la densidad del EVA extruido representa un valor mucho más alto que las densidades de la goma EVA producida por la empresa Plasticaucho (ver tabla 3.1)

4.1.2. TEMPERATURA DE FUSIÓN

El punto de fusión o temperatura de fusión es aquella a la cual una sustancia pasa del estado sólido al estado líquido. La temperatura de fusión es un valor de extrema importancia en ingeniería de polímeros, pues indica la temperatura con la que se puede trabajar el plástico y por ende determina si un determinado plástico puede ser utilizado para una aplicación dada.

Cuando se calienta una muestra se puede medir su adquisición o evolución de calor, o lo que se puede medir es la diferencia de temperatura resultante.

En el caso de la fusión se pueden determinar objetivamente y de manera reproducible las temperaturas inicial y final, en ocasiones con algunas décimas de grado. Mientras que esas temperaturas son útiles en la caracterización de sustancias.

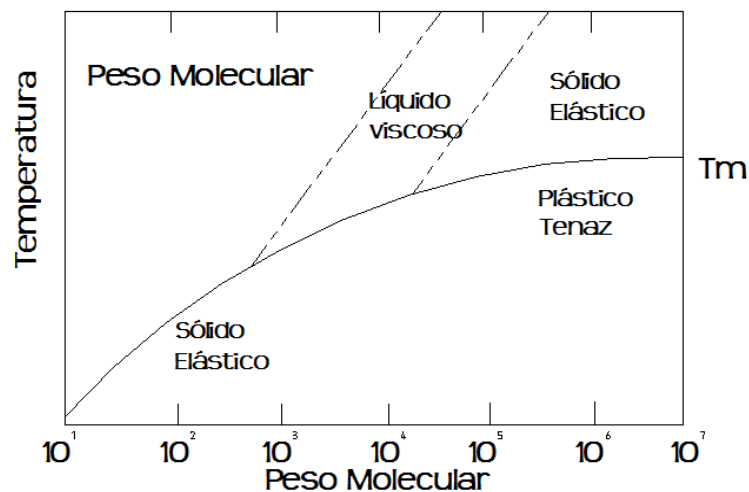


Fig. 4.1 Temperatura de fusión en función del peso molecular

En la figura se indica la influencia de la temperatura y el peso molecular en la naturaleza del polímero. A temperaturas relativamente elevadas los materiales de bajo peso molecular están en estado de líquido fluido; mientras que para los

de pesos moleculares intermedios y altos prevalecen los estados líquidos viscoso y sólido elástico, respectivamente. Los polímeros cristalinos aparecen a baja temperatura y a pesos moleculares bajos.

Tabla 4.2 Temperaturas de fusión de los polímeros más comunes

Material	Temperatura de Fusión	
	°C	°F
LDPE	115	239
HDPE	137	279
PVC	212	414
PTFE	327	621
PP	175	347
Nylon 66	265	509
PET	265	509

Fuente: Brydson J.A. Plastics Materials 7th Edition

Para determinar la temperatura de fusión del EVA extruido se utilizó el método de *Calorimetría de barrido diferencial DSC*, que es un procedimiento que se utiliza para medir el flujo de calor, hacia adentro o hacia afuera de una muestra, a medida que esta se expone a un perfil controlado de temperaturas. El DSC proporciona tanto información cualitativa como cuantitativa acerca de las transiciones involucradas en la muestra: temperatura de transición vítrea, cristalización, reacción, fusión y descomposición.

El ensayo lo realizó el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y arrojó como resultado una temperatura de fusión del EVA extruido de 83.8 °C (ver anexo D).

4.1.3. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conducción térmica es el fenómeno por medio del cual el calor se transporta de una región de alta temperatura a una de baja temperatura de una sustancia. La propiedad que caracteriza la habilidad de un material de transferir calor es la conductividad térmica.

Es una constante física para la cantidad de calor que pasa a través de una unidad cúbica de material en una unidad de tiempo cuando la diferencia de temperatura de dos caras es 1 °C.

En el sistema internacional de unidades SI la conductividad térmica se expresa en $W/(m^{\circ}K)$, en el sistema métrico $cal/(cm.s^{\circ}C)$ y en unidades inglesas $(BTU.pulg)/(pie^2.h^{\circ}F)$, y generalmente la conductividad térmica es expresada con la letra *k*.

El valor de la conductividad térmica de los plásticos es sumamente pequeño. Los metales, por ejemplo, presentan conductividades térmicas 2000 veces mayores que los plásticos, esto se debe a la ausencia de electrones libres en el material.

Un inconveniente de la baja conductividad aparece durante la transformación de los plásticos. El calor necesario para transformar los plásticos se absorbe de manera muy lenta y, por otra parte la eliminación del calor resulta igualmente costosa.

Durante el uso de los plásticos, la baja conductividad térmica aparece como una ventaja, pues permite el empleo de estos materiales como aislantes.

La siguiente tabla proporciona valores de conductividad térmica para algunos materiales:

Tabla 4.3 Conductividad térmica de materiales seleccionados a 20°C

Material	Conductividad térmica (W/m ² K)
ABS	0.25
Nylon 66	0.24
PET	0.20
PC	0.20
PP	0.20
PS	0.15
HDPE	0.25
LDPE	0.24
PVC (rígido)	0.16
PS espuma	0.032
PU espuma	0.032
Acero inoxidable	90
Aleación de níquel cobre	12
Zinc	111
Cobre	400

Fuente: Crawford R.J. Plastics Engineering 3rd Edition

Para plásticos espumados, los valores de la conductividad térmica son mucho más bajos que aquellos plásticos que no son espumados debido a gases, particularmente aire, que tienen una conductividad térmica más baja que los polímeros. La siguiente figura muestra una comparación entre la conductividad térmica de plásticos y materiales de construcción y los espesores requeridos para lograr el mismo grado de aislamiento térmico:

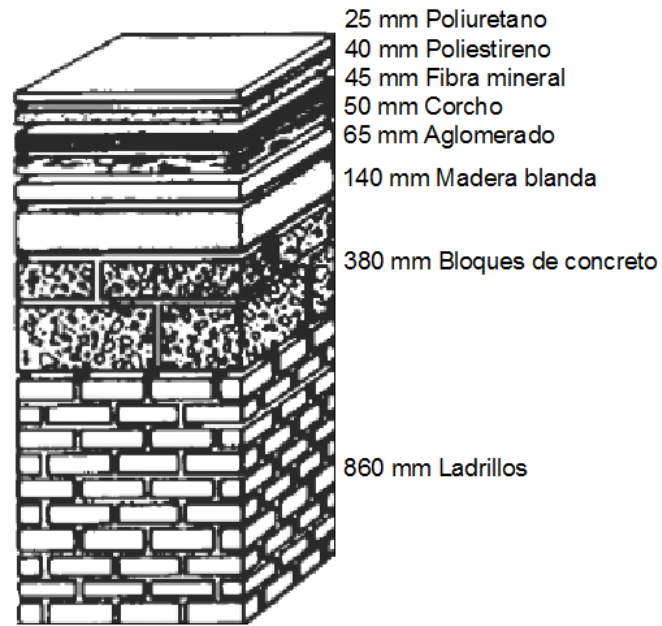


Fig. 4.2 Comparación de conductividades térmicas para algunos materiales

Para determinar la conductividad térmica k del EVA extruido, se realizó un ensayo basado en la distribución de temperatura para aletas de sección transversal uniforme como lo muestra la figura:

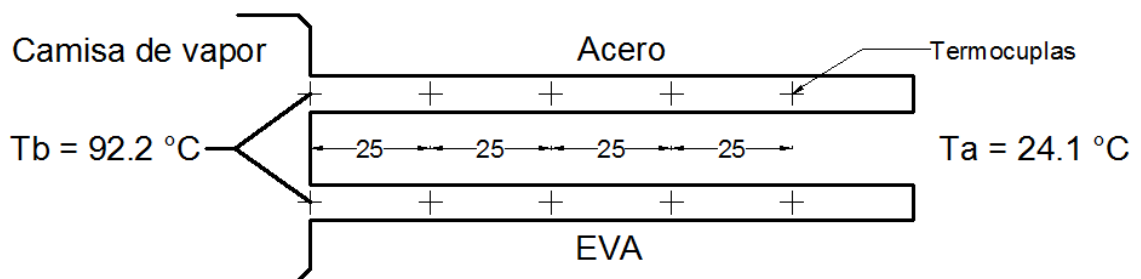


Fig. 4.3 Ensayo para determinar la conductividad térmica del EVA extruido

Como requisito para el posterior cálculo de la conductividad térmica del EVA extruido es necesario asumir las siguientes condiciones:

- Estado estacionario
- Conducción unidimensional a lo largo de las barras
- Propiedades constantes
- Radiación despreciable
- Resistencia en la base de contacto insignificante
- Las barras son idénticas excepto por sus conductividades térmicas
- Barras de longitud infinita

Bajo estas condiciones se procedió a colocar 4 termocuplas tipo K separadas 25 mm entre sí, tanto a la barra de acero que servirá de referencia como a la de EVA extruido. Para mantener una temperatura constante en la base de las barras se uso el caldero del laboratorio de termodinámica del DECEM y se construyó una camisa.

Luego de 5 minutos aproximadamente se procedió a tomar los datos de temperatura en las 8 termocuplas:

Con la suposición de barras de longitud infinita, la distribución de temperatura se establece mediante:

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{T - T_a}{T_b - T_a} = e^{-mx} \quad (4.3)$$

Despejando y con $m = \left(\frac{hP}{kA}\right)^{\frac{1}{2}}$

$$\ln \frac{T - T_a}{T_b - T_a} = \left(\frac{hP}{kA}\right)^{\frac{1}{2}} x \quad (4.4)$$

Utilizando esta expresión para ambos materiales y dividiéndolas entre sí, es posible obtener la conductividad térmica del EVA extruido:

$$kE^{\frac{1}{2}} = kA^{\frac{1}{2}} \frac{\ln \left[\frac{T_A - T_a}{T_b - T_a} \right]}{\ln \left[\frac{T_B - T_a}{T_b - T_a} \right]} \quad (4.5)$$

Con una temperatura media $\left(\frac{T_b + T_a}{2} \right)$ de 58 °C (331 °K) e interpolando se obtiene la conductividad térmica del acero $kA = 59 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ para calcular la del EVA extruido:

Tabla 4.4 Conductividad térmica del EVA extruido

Acero					
Termocupla		T (°C)	Ta (°C)	Tb (°C)	kA (W/m°K)
25 mm	TA1	60.8	24.1	92.2	59
50 mm	TA2	53.3			
75 mm	TA3	51.5			
100 mm	TA4	47.8			
EVA					
Termocupla		T (°C)	Ta (°C)	Tb (°C)	kE (W/m°K)
25 mm	TA1	25.2	24.1	92.2	1.32
50 mm	TA2	24.8			1.72
75 mm	TA3	24.3			1.44
100 mm	TA4	24.2			1.54

4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

4.2.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

El ensayo de tracción es el método generalmente empleado para la caracterización de muchos materiales y no es de sorprenderse que también sea ampliamente usado en plásticos. Sin embargo, para los plásticos el ensayo de tracción necesita ser realizado muy cuidadosamente y los resultados de un único ensayo deberían ser usados solamente como un medio de control de calidad y no como datos de diseño, esto debido a que con los plásticos es posible, con el mismo material, obtener resultados bastante diferentes unos de otros simplemente cambiando las condiciones del ensayo.

La primera propiedad mecánica proveniente del ensayo de tracción y que la mayoría de diseñadores buscan en la evaluación del potencial material es su resistencia, y específicamente la resistencia a la tracción S_U .

La resistencia a la tracción se define como el esfuerzo de tracción máximo soportado por una probeta durante un ensayo de tracción. Cuando un esfuerzo máximo ocurre en su punto de fluencia se designa como resistencia a la tracción en la fluencia, mientras que cuando un esfuerzo máximo ocurre en la ruptura se denomina como resistencia a la tracción en la rotura. Cuando se habla de plásticos, esas diferencias son prácticamente ignoradas y se establece cualquiera que sea aplicable.

La resistencia última a la tracción se mide usualmente en mega pascales (MPa) o libras por pulgada cuadrada (psi) y se calcula mediante la expresión:

$$S_U = \frac{F}{A_o} \quad (4.6)$$

Teniendo F como la carga (fluencia o ruptura) y A_o , el área de la sección transversal original de la probeta.

Para los plásticos, el rango de la resistencia a la tensión está entre 20 MPa (3000 psi) a 75 MPa (11000 psi) o un poco más elevado, a más de 350 MPa (50000 psi) para plásticos termoestables reforzados, sin embargo; para la goma EVA que es el material de desecho a extruir se tienen valores más bajos debido a que la principal propiedad de dicha goma es su alta resistencia al impacto que se hablará posteriormente. Valores típicos de la resistencia a la tensión de la goma EVA están en el rango de 0.8 a 2 MPa aproximadamente dependiendo de la formulación química que posea el material.

Los resultados de los ensayos de tracción realizados tanto a probetas de EVA de desecho como a probetas de EVA extruido se describen más adelante.

4.2.2. ALARGAMIENTO PORCENTUAL

La deformación unitaria δ , es la deformación resultante de un esfuerzo; es medida como la relación entre el cambio y el valor total de la dimensión en el cual ocurrió dicho cambio; es decir, simplemente es el cambio de longitud por unidad de longitud original por lo que es adimensional y expresado en mm/mm o pulg/pulg. Debido a que representa valores pequeños, la deformación unitaria frecuentemente se expresa como porcentaje, comúnmente conocido como alargamiento porcentual o porcentaje de elongación ϵ :

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0} = \frac{L-L_0}{L_0} * 100 \quad (4.7)$$

Siendo L la longitud final entre marcas o calibrada de la probeta en la ruptura durante el ensayo de tracción, y L_0 la longitud inicial entre marcas o calibrada de la probeta antes de realizar el ensayo de tracción.

Más adelante se detalla los resultados de alargamiento porcentual obtenidos a partir del ensayo a tracción.

4.2.3. MÓDULO ELÁSTICO

El módulo elástico E , también referido al módulo de elasticidad o módulo de Young, es una característica muy importante de un material. Es la evaluación numérica de la ley de Hooke, es decir la medida de la resistencia a la deformación elástica en donde dicha deformación es directamente proporcional a sus cargas debajo de los límites de proporcionalidad, por lo que dentro de este límite el material regresará a su forma original una vez retirada la carga aplicada.

Al ser una constante, el módulo elástico está representado por la pendiente de la línea recta de la parte inicial de la curva de esfuerzo - deformación del ensayo de tracción, generalmente está expresado en MPa o GPa, psi o Msi. Puede ser calculado como el esfuerzo en cualquier punto por debajo de los límites de proporcionalidad, dividido para su correspondiente deformación:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (4.8)$$

Valores de E obtenidos de los ensayos a tracción, tanto del EVA de desecho como del EVA extruido se listan a continuación:

EVA DE DESECHO (escala 5kg, 1 mm = 0.05 kg)

Tabla 4.5 Diagramas de Carga - Desplazamiento del cabezal para el EVA de desecho

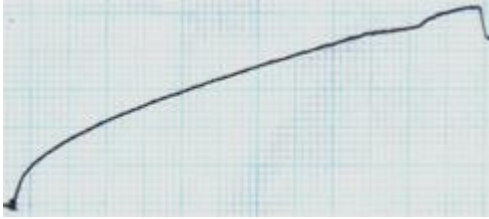

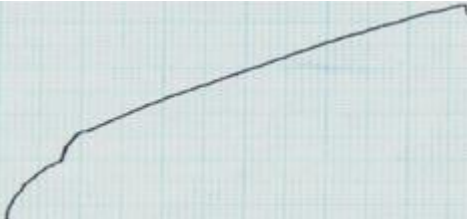


No.	Diagramas
1	
2	
3	
4	
5	

Tabla 4.6 Resultados de los ensayos de tracción para el EVA de desecho

No.	Ancho b (mm)	Espesor t (mm)	Lo (mm)	L (mm)	Área Ao (mm ²)	Carga máx. (mm)	Carga máx. (N)	Resistencia a la tracción S _u (MPa)	Alargamiento porcentual ε (%)	Módulo elástico E (MPa)
1	3.6	4	30.5	85	14.4	26	12.75	0.89	179	0.94
2	3.6	4	31.2	81	14.4	26	12.75	0.89	160	1.06
3	3.6	6	32.3	83	21.6	48	23.54	1.09	157	1.39
4	3.6	6	32.2	84	21.6	48	23.54	1.09	160	1.32
5	3.6	6	32.4	85	21.6	50	24.53	1.14	162	1.62

Los ensayos fueron realizados en la máquina de tracción horizontal

Velocidad de ensayo = 3.3 mm/s

T = 22 °C

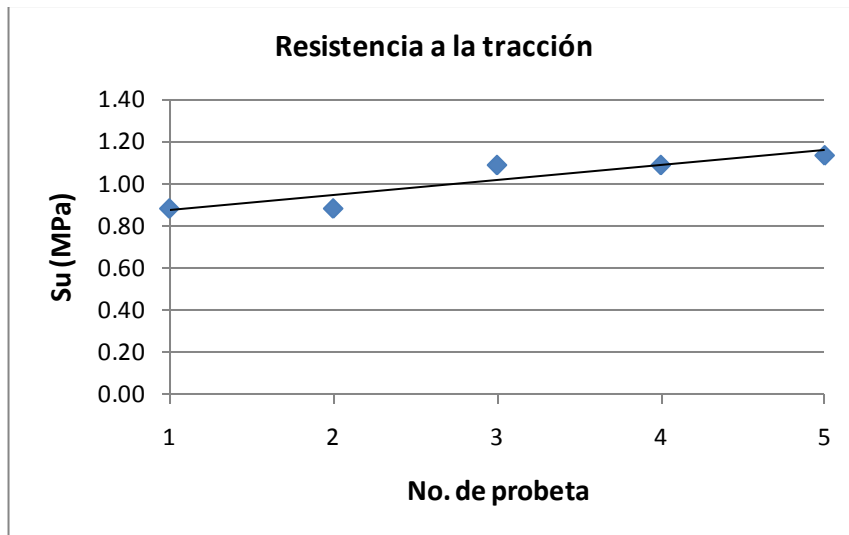


Fig. 4.4 Resistencia a la tracción de las probetas de EVA de desecho

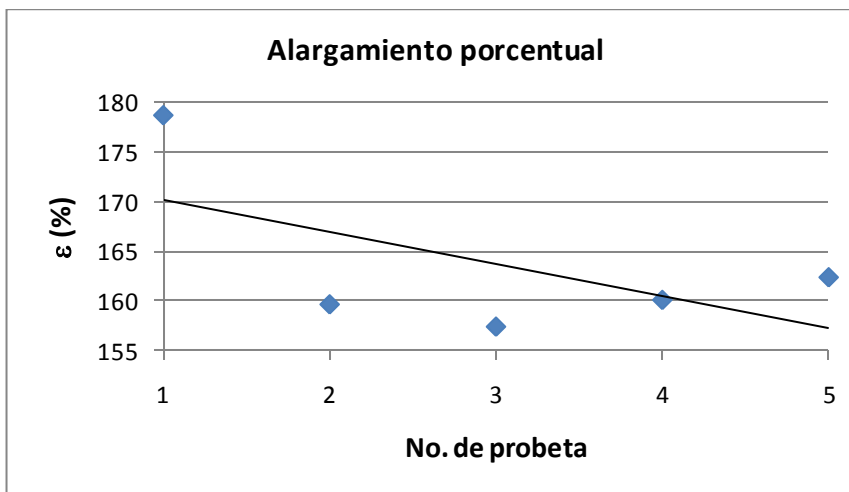


Fig. 4.5 Alargamiento porcentual de las probetas de EVA de desecho

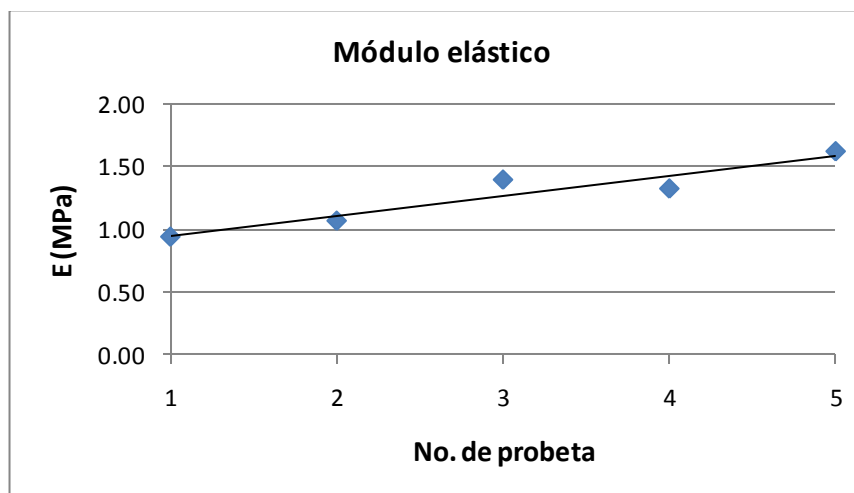


Fig. 4.6 Módulo elástico de las probetas de EVA de desecho

EVA EXTRUIDO (escala 10 kg, 1mm = 0.1 kg)

Tabla 4.7 Diagramas de Carga - Desplazamiento del cabezal para el EVA extruido






No.	1	2	3	4	5
Diagramas					

Tabla 4.8 Resultados de los ensayos de tracción para el EVA extruido

No.	Diámetro medio d (mm)	Lo (mm)	L (mm)	Área Ao (mm ²)	Carga máx. (mm)	Carga máx. (N)	Resistencia a la tracción S _u (MPa)	Alargamiento porcentual ε (%)	Módulo elástico E (MPa)
1	4.34	80	88	14.78	56	54.94	3.72	10	69.03
2	4.31	80	88	14.62	56	54.94	3.76	10	69.80
3	4.29	80	89	14.48	52	51.01	3.52	11	59.61
4	4.27	80	87	14.35	53	51.99	3.62	9	68.38
5	4.41	80	89	15.30	64	62.78	4.10	11	51.29

Los ensayos fueron realizados en la máquina de tracción horizontal

Velocidad de ensayo = 3.3 mm/s

T = 23 °C

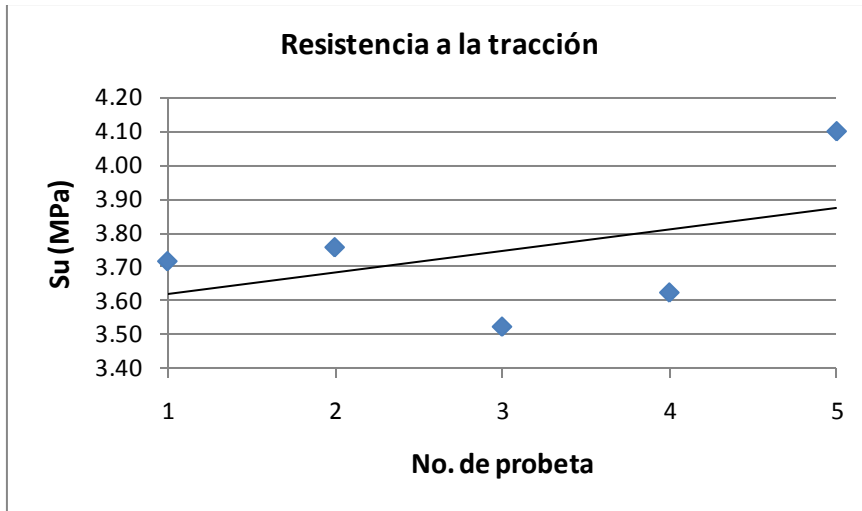


Fig. 4.7 Resistencia a la tracción de las probetas de EVA extruido

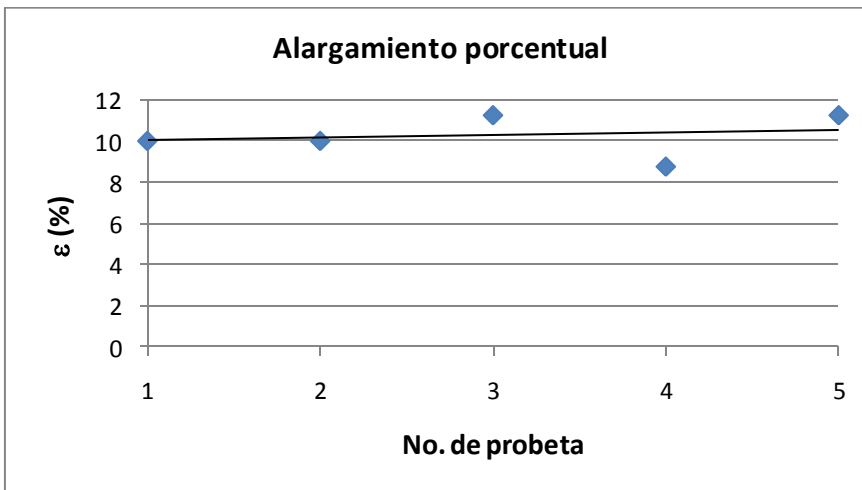


Fig. 4.8 Alargamiento porcentual de las probetas de EVA extruido

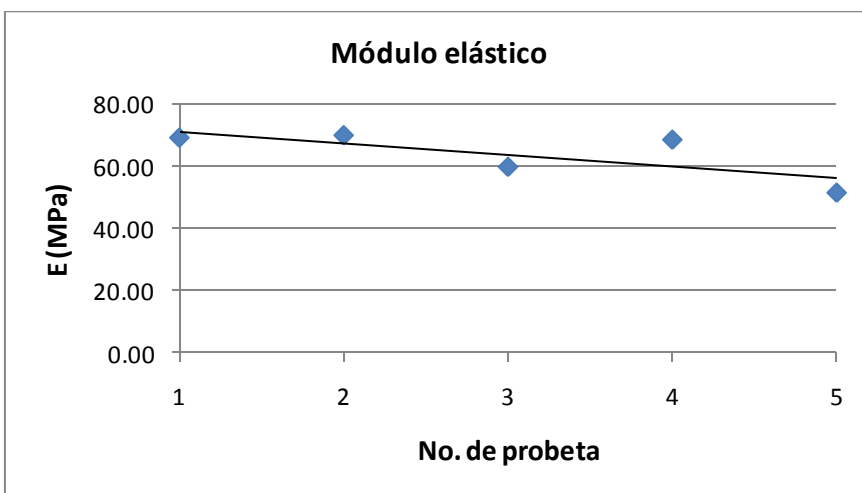


Fig. 4.9 Módulo elástico de las probetas de EVA extruido

4.2.4. RELACIÓN DE POISSON

La relación de Poisson es el valor absoluto de la relación de la deformación transversal con respecto a la deformación axial como resultado de un esfuerzo axial aplicado uniformemente, debajo del límite proporcional del material. Esta relación es una de las propiedades básicas y características de un material.

Cuando un cuerpo sólido está siendo alargado (o comprimido) por una fuerza uniaxial, este experimentará extensión (o compresión) en la dirección en la cual la fuerza está actuando. Esta deformación también estará acompañada por una deformación lateral: una contracción si la deformación axial es en extensión, o una expansión si la fuerza axial es en compresión.

Para un cuerpo que es homogéneo e isotrópico, la relación de la deformación lateral a la correspondiente deformación axial es una constante conocida como la relación de Poisson y es una constante requerida en el análisis de ingeniería para determinar esfuerzos y deflexiones de los materiales y estructuras como vigas, placas, cubiertas y discos giratorios.

Un método sencillo para determinar la relación de Poisson es mediante el uso de galgas extensiométricas en una probeta sometida al ensayo simple de tracción para luego dividir la deformación transversal para la deformación axial:

$$\nu = \frac{\epsilon_{trans}}{\epsilon_{axial}} \quad (4.9)$$

Aunque también se lo puede obtener mediante la expresión:

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1 \quad (4.10)$$

Con los plásticos, cuando la temperatura cambia las magnitudes de los esfuerzos y deformaciones así como la dirección de las cargas aplicadas cambian, sin embargo esos factores usualmente no altera significativamente el rango típico de valores como para afectar los cálculos prácticos.

Para los plásticos la relación cae dentro del rango de 0 a 0.5. Con una relación de 0 no hay contracción lateral durante la elongación, pero sufrirá una reducción en la densidad. Un valor de 0.5 indicaría que el volumen de la muestra permanece constante durante la elongación o que el diámetro decrece tal como sucede con un elastómero o caucho. El rango para los plásticos usualmente está entre cerca de 0.2 a 0.4, 0.5 para el caucho natural y para termoplásticos reforzados de 0.1 a 0.4 como se muestra en la tabla.

Tabla 4.9 Relación de Poisson para algunos plásticos

Material	Relación de Poisson (ν)
Poliestireno (PS)	0.33
Polimetil Metacrilato (PMMA)	0.33
Cloruro de Polivinilo (PVC) (no plastificado)	0.39
Nylon 66	0.44
Acetal Homo polímero (POM)	0.41
Acetal Co-polímero (POM)	0.39
Polietileno de Alta Densidad (HDPE)	0.34
Polietileno de Baja Densidad (LDPE)	0.45
Polipropileno Homo polímero (PP)	0.36
Polipropileno Co-polímero (PP)	0.40
Policarbonato (PC)	0.37

Fuente: Crawford R.J. Plastics Engineering 3rd Edition

Tabla 4.10 Resultados de los ensayos de torsión para el EVA de desecho y cálculo de la relación de Poisson

No.	Brazo de palanca r (mm)	Módulo de elasticidad medio E (MPa)	Diámetro medio d (mm)	Longitud L (mm)	Carga W (kg)	Ángulo de rotación θ (rad)	Torque T (N.mm)	Módulo de cortante G (MPa)	Relación de Poisson ν
1	90	63.622	4.49	60	0.006	0.384	5.297	20.746	0.533
					0.012	0.785	10.595	20.285	0.568
					0.018	1.134	15.892	21.065	0.510
					0.025	1.396	22.073	23.771	0.338

**Tabla 4.10 Resultados de los ensayos de torsión para el EVA de desecho y cálculo de la relación de Poisson
(Continuación)**

No.	Brazo de palanca r (mm)	Módulo de elasticidad medio E (MPa)	Diámetro medio d (mm)	Longitud L (mm)	Carga W (kg)	Ángulo de rotación θ (rad)	Torque T (N.mm)	Módulo de cortante G (MPa)	Relación de Poisson ν
2	90	63.622	4.43	63	0.006	0.436	5.297	20.229	0.573
					0.012	0.785	10.595	22.476	0.415
					0.018	1.257	15.892	21.072	0.510
					0.025	1.396	22.073	26.340	0.208

**Tabla 4.10 Resultados de los ensayos de torsión para el EVA de desecho y cálculo de la relación de Poisson
(Continuación)**

No.	Brazo de palanca r (mm)	Módulo de elasticidad medio E (MPa)	Diámetro medio d (mm)	Longitud L (mm)	Carga W (kg)	Ángulo de rotación θ (rad)	Torque T (N.mm)	Módulo de cortante G (MPa)	Relación de Poisson ν
3	90	63.622	4.40	65	0.006	0.401	5.297	23.311	0.365
					0.012	0.733	10.595	25.531	0.246
					0.018	1.134	15.892	24.745	0.286
					0.025	1.484	22.073	26.282	0.210

T = 23 °C

4.2.5. RESISTENCIA AL IMPACTO

La resistencia al impacto es una de las propiedades clave de los materiales. Se define como la habilidad de un material para absorber y disipar la energía entregada durante colisiones a velocidad relativamente alta (choques) sin sufrir daños. Generalmente es medida empíricamente por ensayos.

Aunque la información del ensayo de impacto es ampliamente citado, la mayoría es de poco valor debido a que la resistencia al impacto no es una propiedad inherente al material y por lo tanto no es posible especificar un valor universal único para la resistencia al impacto de ningún plástico; asimismo es relevante notar que la resistencia al impacto depende de un rango de variables incluyendo temperatura, tasa de deformación, esfuerzos, anisotropía, geometría, condiciones de fabricación, medio ambiente y demás.

La habilidad de un plástico para soportar una carga de impacto depende de su tenacidad. La tenacidad puede ser aproximada como el área bajo la curva de esfuerzo - deformación, aunque en un ensayo de impacto la tasa de aplicación de la carga es significativamente más rápida que aquella usada en un ensayo de tracción, por lo que para determinar la tenacidad del EVA extruido se modificó el ensayo de tracción, realizándolo a una velocidad considerablemente más alta que la normal; y a partir de los correspondientes diagramas de esfuerzo - deformación, corregir las curvas y calcular el área. Los resultados del ensayo se describen a continuación:

EVA EXTRUIDO (escala 5 kg, 1mm = 0.05 kg)

Tabla 4.11 Diagramas de Carga - Desplazamiento del cabezal para el EVA extruido


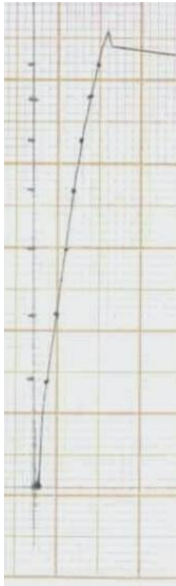

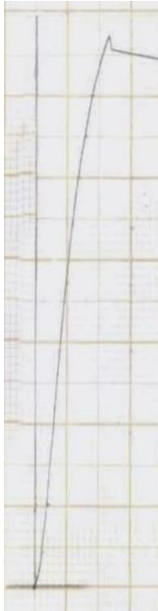
No.	1	2	3	4
Diagramas	 A hand-drawn load-displacement graph on a grid. The vertical axis represents load and the horizontal axis represents displacement. The curve starts at the origin, rises steeply, reaches a peak, and then slightly drops before leveling off.	 A hand-drawn load-displacement graph on a grid. The curve starts at the origin, rises steeply, reaches a peak, and then slightly drops before leveling off. There are several small dots plotted along the curve.	 A hand-drawn load-displacement graph on a grid. The curve starts at the origin, rises steeply, reaches a peak, and then slightly drops before leveling off.	 A hand-drawn load-displacement graph on a grid. The curve starts at the origin, rises steeply, reaches a peak, and then slightly drops before leveling off.

Tabla 4.12 Diagramas de Esfuerzo - Deformación para el EVA extruido

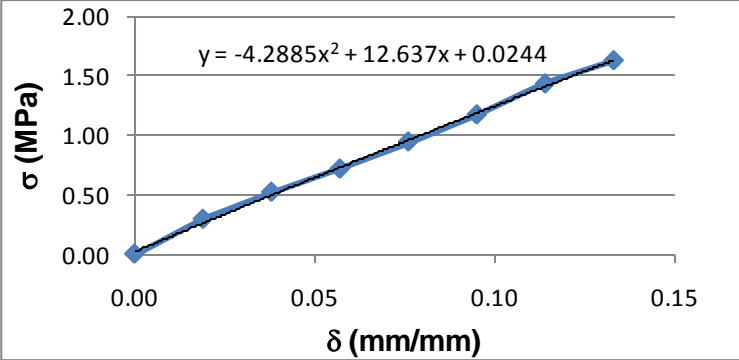
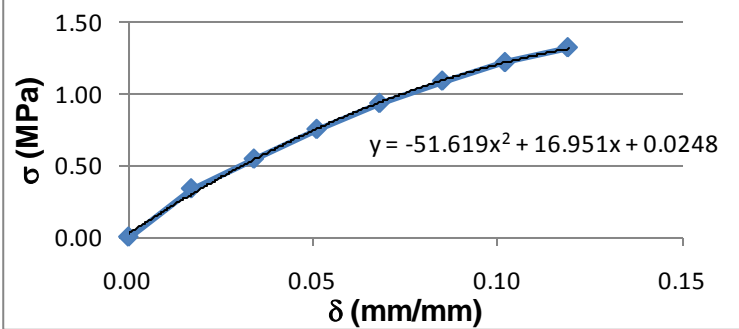
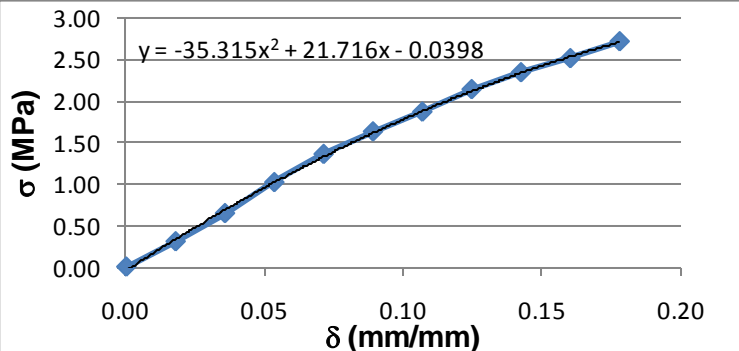
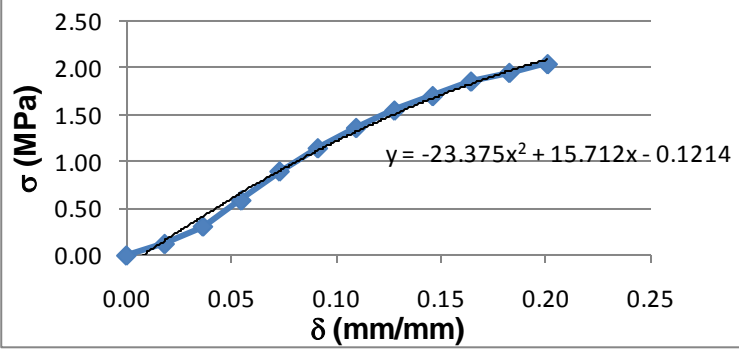
No.	Diagramas
1	 <p>$y = -4.2885x^2 + 12.637x + 0.0244$</p>
2	 <p>$y = -51.619x^2 + 16.951x + 0.0248$</p>
3	 <p>$y = -35.315x^2 + 21.716x - 0.0398$</p>
4	 <p>$y = -23.375x^2 + 15.712x - 0.1214$</p>

Tabla 4.13 Resultados de los ensayos de tracción para el EVA extruido

No.	Diámetro medio d (mm)	Lo (mm)	L (mm)	Área Ao (mm ²)	Carga máx. (mm)	Carga máx. (N)	Deformación (mm/mm)	Área bajo la curva (tenacidad) (J)
1	4.38	52.6	60	15.05	50	24.50	0.13	0.11
2	4.91	58.8	61	18.95	51	24.99	0.12	0.09
3	4.29	56.2	63	14.45	80	39.20	0.18	0.28
4	4.49	54.7	61	15.81	66	32.34	0.20	0.28

Los ensayos fueron realizados en la máquina de tracción horizontal

Velocidad de ensayo = 8.8 mm/s

T = 21 °C

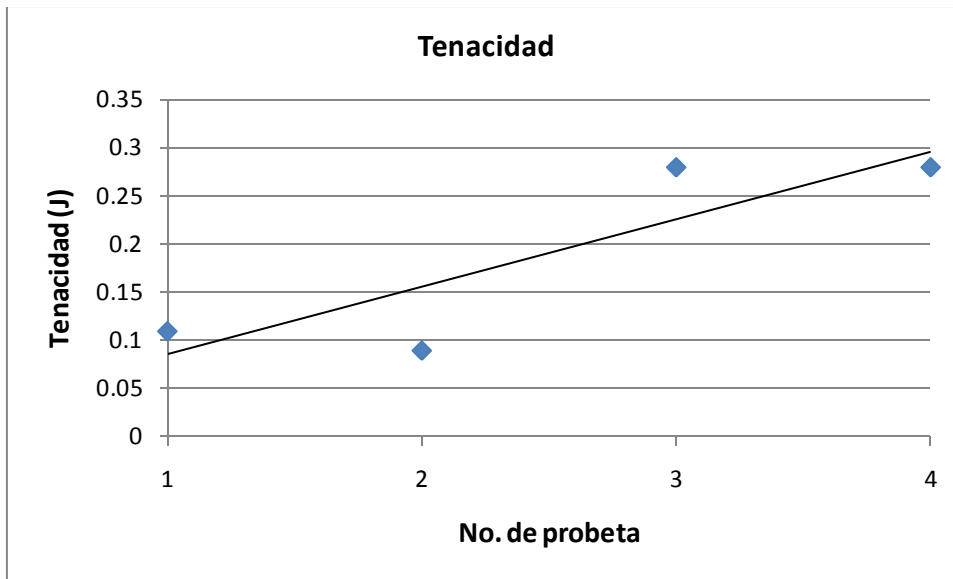


Fig. 4.10 Tenacidad de las probetas de EVA extruido

4.2.6. DUREZA

Es la medida de la resistencia de un material plástico a la indentación, abrasión y deformación plástica. La mayoría de ensayos de dureza para plásticos están basados en la resistencia a la penetración de un indentador presionado sobre la superficie del plástico bajo una carga constante. Las medidas de dureza pueden ser muy valiosas, particularmente para comparar materiales similares.

La dureza de los plásticos es difícil de establecer y comparar debido a que existe un amplio rango de valores, así como medir la dureza con el uso de indentadores ya que existe un efecto de recuperación elástica. Dentro de los métodos más importantes para determinar esta propiedad está la dureza Rockwell y la dureza Shore. El ensayo Rockwell determina la dureza luego de permitir la recuperación elástica del material, mientras que el ensayo Shore excluye cualquier efecto de recuperación elástica.

Los ensayos de dureza de plásticos son comúnmente medidos por los ensayos Shore y Rockwell. La dureza Shore es el método preferido para especificar la dureza de cauchos y elastómeros así como de otros plásticos como lo muestra la figura 4.4. El durómetro Shore A especifica la dureza de la mayoría de los plásticos y más comunes, mientras que en la escala Shore D se leen los materiales duros y termoplásticos; ambas escalas proveen un valor de dureza empírico que no se relacionan con otras propiedades o características fundamentales del material.

Con la ayuda del durómetro Shore D del Laboratorio de Mecánica de Materiales del DECEM (ver anexo I) se ensayó 10 diferentes probetas a una temperatura ambiente $T_a = 21^\circ\text{C}$, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.14 Dureza Shore D del EVA extruido

Ensayo	Indentación (mm)	Escala Shore D
1	1.01	43
2	1.10	46
3	1.05	44
4	1.12	47
5	1.11	47
6	1.12	47
7	1.07	45
8	1.00	42
9	1.02	43
10	1.06	45

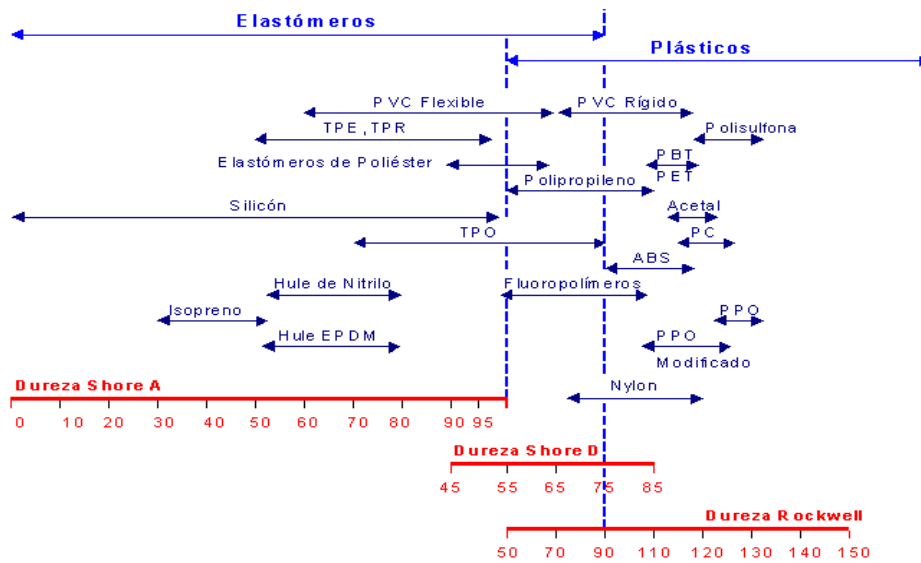


Fig. 4.11 Durómetros típicos empleados para elastómeros y plásticos

En resumen, las propiedades físicas y características mecánicas del EVA extruido se listan en la siguiente tabla:

Tabla 4.15 Propiedades físicas y características mecánicas del EVA extruido

Nombre	Valor (unidad)
Densidad	0.96 - 1.30 (g/cm ³)
Temperatura de fusión	83.8 (°C)
Conductividad térmica	1.32 - 1.72 (W/m°K)
Resistencia a la tracción	3.52 - 4.10 (MPa)
Alargamiento porcentual	9 - 11 (%)
Módulo elástico	51.29 - 69.80 (MPa)
Relación de Poisson	0.208 - 0.568
Resistencia al impacto	0.09 - 0.28 (J)
Dureza	42 - 47 (Shore D)