

Propiedades mecánicas del poliéster reforzado con fibra de vidrio con distintos tipos de alma

(1),(*) JOSÉ MANUEL MARINO Y (2) OSCAR RODRÍGUEZ

(1, 2) Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica
Universidad Metropolitana
Distribuidor Universidad, Terrazas del Ávila
Caracas, Venezuela

(1) Facultad de Ingeniería, Dpto. de Física
Universidad Católica Andrés Bello
Caracas

Resumen

El presente artículo analiza el comportamiento de las propiedades mecánicas del poliéster, elaborado en Venezuela, reforzado con distintos tipos de alma, con la finalidad de que este estudio sirva de referencia en el diseño de diversas piezas y elementos como: tuberías, tanques, electrodomésticos o cualquier otra pieza que se requiera fabricar en poliéster reforzado con productos venezolanos.

Uno de los resultados más importantes obtenidos en este estudio muestra que, el emplear almas contribuye significativamente para mejorar las características a flexión, pero no mejora sustancialmente las propiedades de compresión y tracción.

Palabras clave: Poliéster, flexión, compresión, la tracción, reforzado.

Abstract

The present article analyzes the behavior of the mechanical properties of the polyester, elaborated in Venezuela, reinforced with different soul types, with the purpose that this study serves as reference in the design of diverse pieces and elements, as: pipes, tanks, appliances or any other piece that it is required to manufacture in polyester reinforced with Venezuelan products.

The result but important obtained in this study it shows that, using souls contributes significantly to improve the characteristics to flexion, but it doesn't improve the compression properties and traction substantially.

Key words: Polyester, flexion, compression, traction, reinforced

Introducción

La infraestructura del mundo está envejeciendo y millones de kilómetros de tubería para agua, alcantarillado y tanques subterráneos necesitan ser

rehabilitados o reemplazados. Este dilema es un problema mundial. Y cuando el envejecimiento de la infraestructura no es el problema, generalmente es porque no hay infraestructura. En muchos países en vía de desarrollo está por construirse. Sin embargo, estas naciones también enfrentan decisiones difíciles de tomar acerca de cómo construir la infraestructura, lanchas, piezas automotrices, electrodomésticos y qué materiales utilizar para evitar justamente lo que ha sucedido en los países desarrollados.

En la mayoría de los casos, el problema se debe a la corrosión.

Estos problemas se pueden reducir significativamente, e incluso eliminar por completo, haciendo una cuidadosa selección de materiales resistentes a la corrosión o incorporando sistemas de protección anticorrosiva. Desafortunadamente, con la esperanza de ahorrar dinero, algunas empresas eligen no incorporar la protección necesaria para evitar la corrosión, encontrando años después las adversas consecuencias.

Pero, la corrosión es un proceso irreversible. Una solución a estas situaciones es fabricar elementos y piezas de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (GRP, de sus siglas en inglés).

En Noruega se han desarrollado tanques subterráneos de petróleo en GRP desde la década de los 60's (Flowtite, Guía de Producto, 2000, pág. 3) y también tienen experiencia, en la tecnología de materiales y el diseño de sistemas de transporte de fluidos en GRP con confiabilidad y seguridad, acordes, con los estándares exigidos por las normas internacionales. En California, U.S.A., se diseñan prototipos de las nuevas naves espaciales, las cuales son fabricadas con poliéster reforzado con fibra de vidrio, realizándoseles pruebas de vuelo y aterrizaje sin piloto. (REGO, Paco. 1999, pág. 41). En Venezuela se fabrican láminas para techos semitransparentes en GRP.

A diferencia de otros materiales, las piezas y elementos de GRP ofrecen una mayor vida útil efectiva con bajos costos operativos y de mantenimiento, bajo peso, resistencia a la corrosión y costo de fabricación reducido.

Este trabajo es una investigación básica en "materiales" donde se analiza el comportamiento de las propiedades mecánicas del poliéster, elaborado en Venezuela, reforzado con distintos tipos de alma, que puede conducir a significativas mejoras en los productos, ya que la aplicación del GRP es muy diversa y según su uso deberá cumplir con distintas normas.

Desarrollo Experimental

En primer lugar, se debe conocer las características de la resina de poliéster (nacional) a ser utilizado, las cuales son:



Especificaciones de los dos tipos de resinas nacionales empleadas.

Color G&H: Cantidad de rayos infrarrojos absorbidos por un material.

NV: Elementos no volátiles.

Resina flexible

Color G&H, máximo	.....1
Viscosidad Brookfield, a 25° C (cps)	.....180-250
% NV	.....63-66
Tiempo de Gel (minutos) 25° C	.....20-26
Indice de Acidez, Máximo	.....32
Apariencia a 25° C	.....Líquido Transparente

Resina rígida

Viscosidad G&H, 25° C	.....K-M
% NV	.....58-62
Tiempo de Gel (minutos), 25° C	.....13-17
Indice de Acidez, máximo	.....40
Apariencia a 25° C	.....Líquido Rosado Transparente

Esta resina rígida, a diferencia de la flexible, está preacelerada con Naftenato de Cobalto (concentrado al 6%) o Estearato de Cobalto, productos que le dan la tonalidad rosada y que permiten junto al Peróxido de Benzoil (catalizador) fraguar, es decir pasar de estado líquido a sólido.

La resina flexible no se comercializa de manera preacelerada, pero combinándose en proporciones de 80% rígida y 20% flexible, el naftenato de cobalto o estearato de cobalto contenido en la resina rígida, es suficiente para lograr fraguar.

Para analizar el comportamiento de GRP a compresión, flexión y torsión se seleccionaron probetas según el tipo de ensayo a realizar, las características del material y acordes a las normas ASTM, la cual es una de las normas más empleadas para GRP y con múltiples aplicaciones.

Selección de la probeta según el tipo de ensayo

Elección de la probeta

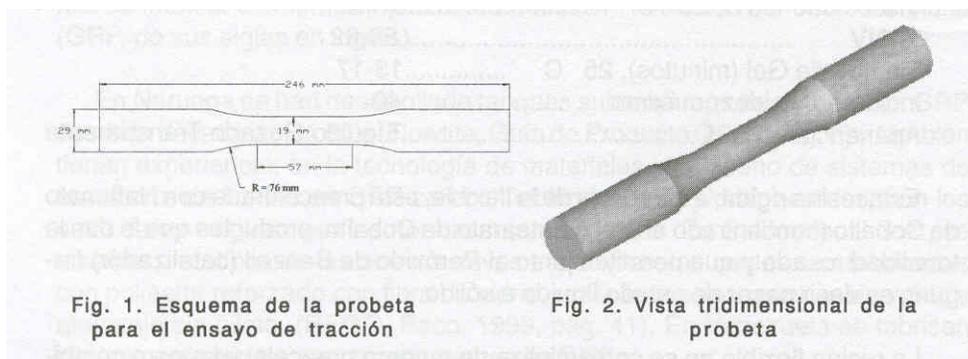
Con la finalidad de determinar las características mecánicas del poliéster, se seleccionó el tipo de probeta a emplear para los tres tipos de ensayo (tracción, flexión y compresión).

Para la selección del tipo de probeta requerida, para cada ensayo, se tomaron en cuenta las especificaciones que aparecen en las normas ASTM D 638, ASTM D 1621 y ASTM D 790 . A partir de dichas normas se llegó a la siguiente selección:

Compresión: Para la realización de este ensayo se seleccionó una probeta de área transversal cuadrada de 12*12 cm y una altura de 2,8 cm, según norma ASTM D 1621

Flexión: Para la realización de este ensayo se eligió una probeta de área cuadrada de 2,5*2,5 cm y una longitud de 49,5 cm, según norma ASTM D 790.

Tracción: Para la realización de este ensayo se seleccionó una probeta con la forma indicada en las figuras 1 y 2, según norma ASTM D 638.



Para fabricar las probetas de los tres tipos de ensayos se realizaron moldes de acero al carbono, excepto las probetas para los ensayos de tracción para lo cual se usaron tubos de plástico de 2 pulgadas de diámetro, y una vez endurecida la resina se mecanizó en un torno para darle la forma que se observa en la figura 1.

En este trabajo se realizaron diferentes combinaciones de resina y almas lo que dio como resultado 42 casos distintos. Esto se debe a la elaboración de probetas con resina rígida, y probetas con una combinación de 80% de resina rígida y 20% de resina flexible. Las probetas se le agregaron capas de matex y woveng roving. Estas capas son las que van a ser utilizadas como almas. A continuación se enumeran los distintos casos según sus características.

Caso 1: Ensayo de compresión con resina rígida.

Caso 2: Ensayo de compresión con resina rígida más 1 capa de matex.

Caso 3: Ensayo de compresión con resina rígida más 2 capas de matex.

Caso 4: Ensayo de compresión con resina rígida más 3 capas de matex.

Caso 5: Ensayo de compresión con resina rígida más 1 capa de woveng roving.

Caso 6: Ensayo de compresión con resina rígida más 2 capas de woveng roving.

Caso 7: Ensayo de compresión con resina rígida más 3 capas de woveng roving.

Caso 8: Ensayo de compresión con combinación de resina rígida y flexible.

Caso 9: Ensayo de compresión con combinación de resina rígida y flexible más 1 capa de matex.

- Caso 10: Ensayo de compresión con combinación de resina rígida y flexible más 2 capas de matex.
- Caso 11: Ensayo de compresión con combinación de resina rígida y flexible más 3 capas de matex.
- Caso 12: Ensayo de compresión con combinación de resina rígida y flexible más una capa de woveng roving.
- Caso 13: Ensayo de compresión con combinación de resina rígida y flexible más 2 capas de woveng roving.
- Caso 14: Ensayo de compresión con combinación de resina rígida y flexible más 3 capas de woveng roving.
- Caso 15: Ensayo de tracción con resina rígida.
- Caso 16: Ensayo de tracción con resina rígida más 1 capa de matex.
- Caso 17: Ensayo de tracción con resina rígida más 2 capas de matex.
- Caso 18: Ensayo de tracción con resina rígida más 3 capas de matex.
- Caso 19: Ensayo de tracción con resina rígida más 1 capa de woveng roving.
- Caso 20: Ensayo de tracción con resina rígida más 2 capas de woveng roving.
- Caso 21: Ensayo de tracción con resina rígida más 3 capas de woveng roving.
- Caso 22: Ensayo de tracción con combinación de resina rígida y flexible.
- Caso 23: Ensayo de tracción con combinación de resina rígida y flexible más 1 capa de matex.
- Caso 24: Ensayo de tracción con combinación de resina rígida y flexible más 2 capas de matex.
- Caso 25: Ensayo de tracción con combinación de resina rígida y flexible más tres capas de matex.
- Caso 26: Ensayo de tracción con combinación de resina rígida y flexible más 1 capa de woveng roving.
- Caso 27: Ensayo de tracción con combinación de resina rígida y flexible más 2 capas de woveng roving.
- Caso 28: Ensayo de tracción con combinación de resina rígida y flexible más 3 capas de woveng roving.
- Caso 29: Ensayo de flexión con resina rígida.
- Caso 30: Ensayo de flexión con resina rígida más 1 capa de matex.
- Caso 31: Ensayo de flexión con resina rígida más 2 capas de matex.
- Caso 32: Ensayo de flexión con resina rígida más 3 capas de matex.
- Caso 33: Ensayo de flexión con resina rígida más una capa de woveng roving.
- Caso 34: Ensayo de flexión con resina rígida más 2 capas de woveng roving.
- Caso 35: Ensayo de flexión con resina rígida más 3 capas de woveng roving.
- Caso 36: Ensayo de flexión con combinación de resina rígida y flexible.
- Caso 37: Ensayo de flexión con combinación de resina rígida y flexible más 1 capa de matex.
- Caso 38: Ensayo de flexión con combinación de resina rígida y flexible más 2 capas de matex.
- Caso 39: Ensayo de flexión con combinación de resina rígida y flexible más 3 capas de matex.
- Caso 40: Ensayo de flexión con combinación de resina rígida y flexible más 1 capa de woveng roving.

Caso 41: Ensayo de flexión con combinación de resina rígida y flexible más 2 capas de woveng roving.

Caso 42: Ensayo de flexión con combinación de resina rígida y flexible más 3 capas de woveng roving.

Para cada uno de los casos se ensayaron 10 probetas para así obtener un promedio de deformación por esfuerzo aplicado (en el caso de la tracción y la compresión) y de una flecha máxima por carga aplicada (en el caso de la flexión). Las normas ASTM exigen un mínimo de 5 probetas ensayadas.

Los resultados se muestran a continuación en las tablas 1, 2 y 3 según los casos, respectivamente.

Resultados de los ensayos

Tabla 1. Deformaciones de 10 probetas sometidas a compresión

Esfuerzo (Mpa)	Deformación promedio en milímetros							Desv
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	
5,11	0,031	0,029	0,027	0,023	0,026	0,025	0,022	0,0032
10,22	0,040	0,035	0,034	0,032	0,031	0,033	0,031	0,0031
15,33	0,045	0,039	0,038	0,039	0,039	0,039	0,036	0,0028
20,44	0,054	0,050	0,047	0,045	0,049	0,046	0,045	0,0033
25,55	0,060	0,057	0,054	0,053	0,056	0,054	0,054	0,0024
30,66	0,066	0,064	0,061	0,060	0,062	0,060	0,060	0,0023
35,77	0,071	0,069	0,067	0,066	0,068	0,067	0,065	0,002
40,88	0,075	0,074	0,072	0,072	0,073	0,072	0,070	0,0016
45,99	0,080	0,080	0,078	0,077	0,080	0,078	0,076	0,0016
51,1	0,084	0,085	0,083	0,081	0,085	0,084	0,081	0,0017
56,21	0,091	0,090	0,087	0,088	0,091	0,090	0,086	0,002
61,32	0,096	0,095	0,093	0,095	0,097	0,096	0,091	0,0021
66,43	0,101	0,100	0,097	0,098	0,101	0,099	0,099	0,0015
71,54	0,106	0,105	0,103	0,102	0,106	0,105	0,105	0,0015
76,65	0,111	0,110	0,107	0,106	0,112	0,109	0,110	0,0021
81,76	0,116	0,116	0,113	0,111	0,116	0,114	0,115	0,0019
86,87	0,123	0,121	0,118	0,116	0,121	0,118	0,120	0,0024

Esfuerzo (Mpa)	Deformación promedio en milímetros							Desv
	Caso 8	Caso 9	Caso 10	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14	
5,11	0,021	0,020	0,018	0,015	0,019	0,015	0,014	0,00276
10,22	0,029	0,028	0,025	0,023	0,028	0,024	0,025	0,00231
15,33	0,037	0,035	0,033	0,031	0,034	0,032	0,030	0,00241
20,44	0,044	0,041	0,039	0,036	0,040	0,039	0,039	0,00243
25,55	0,050	0,049	0,047	0,045	0,048	0,046	0,046	0,0018
30,66	0,055	0,052	0,050	0,048	0,050	0,049	0,048	0,0025
35,77	0,060	0,058	0,055	0,052	0,057	0,056	0,053	0,00279
40,88	0,065	0,065	0,061	0,061	0,065	0,062	0,061	0,00204
45,99	0,071	0,072	0,068	0,067	0,070	0,068	0,066	0,00219
51,1	0,076	0,074	0,070	0,068	0,072	0,069	0,068	0,00311
56,21	0,082	0,080	0,078	0,077	0,079	0,077	0,076	0,00207
61,32	0,086	0,085	0,084	0,082	0,084	0,083	0,082	0,0015
66,43	0,093	0,092	0,090	0,088	0,091	0,089	0,088	0,00195
71,54	0,100	0,101	0,097	0,095	0,098	0,096	0,090	0,00364
76,65	0,118	0,118	0,114	0,115	0,117	0,115	0,114	0,00177
81,76	0,129	0,126	0,123	0,122	0,125	0,122	0,123	0,00256
86,87	0,137	0,135	0,130	0,130	0,135	0,132	0,130	0,00293

Punto de Fractura	78,86	0,130					
	79,1		0,127				
	80			0,126			
	80,1				0,127		
	80,5				0,125		
	81,3					0,125	
	81,5						0,127

Punto de Fractura	85,4					0,134	
	84,5					0,137	
	84,9		0,138				
	85,0			0,134			
	85,3	0,142			0,132		
	85,9						0,132

Tabla 2. Deformaciones de 10 probetas sometidas a tracción

Esfuerzo (Mpa)	Deformación promedio en milímetros							Desv
	Caso 15	Caso 16	Caso 17	Caso 18	Caso 19	Caso 20	Caso 21	
2,08	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002	0,0004	0,0003	0,0002	9E-05
4,16	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,0006	0,0005	0,0004	0,000107
6,24	0,0010	0,0009	0,0008	0,0007	0,0009	0,0009	0,0007	0,000113
8,32	0,0015	0,0013	0,0012	0,0011	0,0013	0,0013	0,0012	0,000125
10,4	0,0021	0,0019	0,0019	0,0018	0,0019	0,0018	0,0016	0,000151
12,48	0,0026	0,0026	0,0025	0,0023	0,0025	0,0023	0,0022	0,00016
14,56	0,0032	0,0030	0,0028	0,0028	0,0030	0,0028	0,0025	0,000221
16,64	0,0038	0,0037	0,0036	0,0032	0,0036	0,0034	0,0031	0,000261
18,72	0,0043	0,0041	0,0039	0,0040	0,0041	0,0039	0,0039	0,00015
20,8	0,0050	0,0047	0,0048	0,0048	0,0049	0,0048	0,0046	0,000129
22,88	0,0060	0,0052	0,0052	0,0050	0,0051	0,0051	0,0050	0,00035

Esfuerzo (Mpa)	Deformación promedio en milímetros							Desv
	Caso 22	Caso 23	Caso 24	Caso 25	Caso 26	Caso 27	Caso 28	
2,08	0,0007	0,0004	0,0005	0,0004	0,0005	0,0003	0,0002	0,00016036
4,16	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0006	0,0005
6,24	0,0012	0,0010	0,0010	0,0008	0,0009	0,0008	0,0009	0,00013973
8,32	0,0017	0,0016	0,0015	0,0013	0,0015	0,0015	0,0012	0,00017043
10,4	0,0023	0,0020	0,0020	0,0018	0,0020	0,0019	0,0019	0,00015736
12,48	0,0028	0,0026	0,0025	0,0025	0,0026	0,0025	0,0025	0,00011127
14,56	0,0032	0,0031	0,0030	0,0030	0,0031	0,0030	0,0029	9,759E-05
16,64	0,0037	0,0036	0,0035	0,0034	0,0036	0,0035	0,0035	9,759E-05
18,72	0,0045	0,0043	0,0042	0,0041	0,0045	0,0044	0,0040	0,00019518
20,8	0,0053	0,0050	0,0050	0,0048	0,0051	0,0049	0,0049	0,0001633
22,88	0,0056	0,0054	0,0052	0,0052	0,0053	0,0051	0,0052	0,00016762

Punto de Fractura	19	19,3	19,7	19,82	20
		0,0063			
			0,0054		
					0,0053
			0,0054	0,0052	0,0052

Punto de Fractura	18,52	19	19,2	19,7	20	20,2	22,22
	0,0058						
						0,0055	
		0,0056					
						0,0053	
			0,0054				
				0,0053			
							0,0053

Tabla 3. Deformaciones de 10 probetas sometidas a flexión

Carga (N)	Flechas promedio en milímetros							Desv
	Caso 29	Caso 30	Caso 31	Caso 32	Caso 33	Caso 34	Caso 35	
58,84	0,72	0,66	0,62	0,61	0,66	0,62	0,6	0,0418
117,68	1,06	0,94	0,92	0,92	0,92	0,93	0,9	0,0537
176,52	1,24	1,15	1,09	1,08	1,16	1,12	1,09	0,0565
235,36	1,55	1,46	1,41	1,41	1,46	1,41	1,38	0,0566
294,2	1,79	1,75	1,68	1,69	1,77	1,72	1,67	0,0469
353,04	2,27	2,14	2,07	2,1	2,16	2,12	2,09	0,0665
411,88	2,56	2,47	2,41	2,39	2,46	2,39	2,39	0,0634

Carga (N)	Flechas promedio en milímetros							Desv
	Caso 36	Caso 37	Caso 38	Caso 39	Caso 40	Caso 41	Caso 42	
58,84	1,01	0,94	0,92	0,88	0,95	0,91	0,88	0,04536
117,68	1,40	1,35	1,31	1,25	1,35	1,31	1,28	0,04981
176,52	1,88	1,85	1,82	1,77	1,82	1,81	1,76	0,04198
235,36	2,31	2,25	2,20	2,18	2,23	2,19	2,17	0,04914
294,20	2,75	2,61	2,59	2,57	2,64	2,57	2,66	0,06396
353,04	3,23	3,14	3,07	3,06	3,13	3,10	3,09	0,05765
411,88	3,83	3,73	3,67	3,68	3,77	3,69	3,68	0,05956
470,72	4,33	4,24	4,17	4,14	4,24	4,20	4,17	0,0637
529,56	4,91	4,85	4,78	5,37	4,28	4,81	4,77	0,31811

Punto de fractura	424,35	427,49	426,68	430,25	431,32	435,67	438,56
							2,49
			2,49				2,42
				2,43			
	2,60						
					2,42		
							2,42

Punto de fractura	535,35	535,57	540,32	544,65	549,56	552,23
					4,84	
						4,82
	4,95					4,79
		4,9				
			4,81			
				5,4		

Análisis de resultados

A partir de los datos obtenidos de los diferentes ensayos se pueden hacer algunas observaciones, según el tipo de propiedad mecánica.

Compresión

La diferencia de esfuerzos que soportan las probetas en los casos 1 y 8, resina rígida y la combinación rígida con flexible, no es considerable, ya que en el caso 8 las probetas soportan en promedio 6,44 MPa más que las probetas del caso 1 (antes de que fallen). Esto representa que las probetas del caso 8 soporta un 6,44% más de esfuerzo que la probeta del caso 1.

También se observa una diferencia mínima en los puntos de fractura de las probetas de los casos 4 y 7, menos de 1 MPa, así como las deformaciones que sufren ambas probetas (sometidas a los mismos esfuerzos) son muy parecidas (diferencias de 2 6 3 milésimas en algunos casos).

En los casos 1 y 14 también se observa una diferencia mínima en las deformaciones, cuando son sometidas a un mismo esfuerzo, siendo estas diferencias de 0,017 milésimas de milímetro (como máximo). En el punto de fractura la diferencia de esfuerzo entre los dos casos es 7 MPa siendo su deformación promedio igual en ambos casos.

En general, cuando se compara las probetas (de un mismo tipo de resina) que no tienen almas con aquellas que sí tienen (ya sean éstas de matex o woveng roving) se observa una disminución pequeña de la deformación, a medida que se agrega una capa como alma disminuye la deformación en 1 ó 2 milésimas (para un mismo esfuerzo).

Tracción

Aquí lo que se observa es una diferencia aun menor en las deformaciones a medida que se agregan capas como almas. Véase, por ejemplo, los casos 15 y 18 donde las diferencias de deformación para un mismo esfuerzo están entre 2 y 8 diez milésimas. Por otra parte, los esfuerzos de tracción que soporta este material son mucho menores que los esfuerzos de compresión, véase los casos 1 y 15. En el caso de la compresión soporta un esfuerzo de 78,86 MPa antes de fracturarse, mientras que a tracción soporta 19,30 MPa antes de fracturarse, es decir, que a tracción soporta el 24,5% del esfuerzo de compresión.

Flexión

Aquí las cargas que puede soportar el material antes de fracturarse no son elevadas, como se puede ver en los casos 29 y 35 (soportan cargas de 431,32 N y 438,56 N, respectivamente) y las flechas no son muy elevadas (2,6 y 2,42 mm, respectivamente), (80% y 20%, respectivamente) soporta 109 N más que la resina rígida sola, antes que se observa en los casos 29 y 36 que la combinación de resina rígida y flexible las dos se fracturen. Es decir que la combinación de resina rígida y flexible (80% y 20%) soporta un 25% más de carga que la resina rígida sola.

Conclusiones

Como principal conclusión se puede resaltar que el uso de almas de fibra de vidrio no contribuyen significativamente en las propiedades de compresión, tracción y flexión.

La diferencia de resistencia al esfuerzo de compresión entre los dos tipos de resina no es considerable (alrededor de un 6,4% aproximadamente), por lo tanto es preferible emplear resina rígida únicamente ya que es más económica. La resina rígida tiene un costo aproximado al detal de US\$ 3,00 por kg, mientras que la resina flexible tiene un costo aproximado de US\$ 3,29 por kg, por lo tanto es un 9,5% más costosa; relación de precios que se mantiene aproximadamente al realizar compras al mayor.

En alguna aplicación en que el material vaya a soportar fuerzas flexionantes es preferible la utilización de la combinación de resina rígida con resina flexible (80% y 20% respectivamente), ya que soporta mejor las fuerzas de este tipo (soporta 109 N más que con la resina rígida únicamente, antes de fracturarse. Ver casos 29 y 36).

La capacidad para soportar esfuerzos a tracción son, aproximadamente, el 25% de lo que puede soportar a compresión.

Referencias bibliográficas

REGO, Paco. Artículo: El Nuevo "Taxi" Espacial. Revista "Newton, siglo XXI, el espectáculo de la ciencia", N° 12, Publiespaña S.A. Depósito Legal M-11659-1998. España, abril 1999, págs. 40, 41, 42, 44.

FLOWTITE, Guía de Producto, 2000. pág. 3.

MASCIA L. Los efectos de los aditivos en los plásticos, Barcelona España, Editorial Index 1974.

TIMOSHENKO, Gere J. Mecánica de materiales, D.F. México, Editorial Iberoamericana. 1998.

Handbook of plastic methods. ASM Internacional Handbook Committee.

Encyclopedia of polymer science and technology. New York, Interscience Publishers. 1997.