

## X CONGRESO INTERNACIONAL DE DISEÑO DE LA HABANA. FORMA 2019

**Título:** Diseño de material compuesto cargado con nanoesferas de vidrio, a partir del policarbonato de bisfenol A. Análisis de su resistencia.

**Autores:**

Dr.C Noelia Barrueta Gómez. Profesor Titular<sup>1</sup>.  
Estudiantes de 3<sup>er</sup> año de D.I. Dayana González Mastrascusa.  
Claudia Delgado Alfaro. D.I  
Arián Moreno Pons. D.I

**Instituciones de procedencia y e-mail:**

<sup>1,2,3,4</sup>Instituto Superior de Diseño.

**E-mail:** [noeliabq@isdi.co.cu](mailto:noeliabq@isdi.co.cu), [dgonzalez@isdi.co.cu](mailto:dgonzalez@isdi.co.cu), [cdelgado@isdi.co.cu](mailto:cdelgado@isdi.co.cu), [ampons@isdi.co.cu](mailto:ampons@isdi.co.cu)

Resumen. En lo relacionado con la teoría de Materiales Compuestos, existe una tendencia a utilizar rellenos para mejorar algunas propiedades y abaratar el costo del material cuando la resina es muy cara como el policarbonato, no obstante, el estudio de estos cambios de propiedades está limitado a algunos tipos de resinas y a algunas fibras, por lo que no se puede establecer cómo va a actuar una carga de mayor rigidez que la matriz en una determinada propiedad. En este trabajo se diseña un material con 5 cargas diferentes de relleno de polvo de vidrio de tamaño nanométrico con el objetivo de determinar la influencia de este relleno en la resistencia al impacto del material compuesto obtenido.

El policarbonato es uno de los polímeros termoestables con mayor aplicación en piezas o elementos donde se requiera resistencia y absorción de energía cinética. El trabajo propone 5 variantes de material compuesto cargado con nanoesferas de vidrio para determinar si el % de carga influye en la resistencia al impacto del material propuesto.

El objetivo general del trabajo se centró en determinar la resistencia al impacto de las probetas cargadas y se resolvieron tres objetivos específicos o preguntas científicas, las cuales se enunciaron como sigue.

1.Cuál es la influencia del % de carga en la resistencia al impacto del policarbonato cargado con nanoesferas de vidrio?

2 ¿Qué valores tiene la resistencia al impacto del policarbonato (Makrolon)cargado con nanoesferas de vidrio?.

Se utilizaron probetas según la Norma NC- 30-23, que responden a la tipología del ensayo de impacto. Se utilizó el equipo de impacto pendular Charpy pertenece a la marca CEAST . El tiempo medio de duración del ensayo Charpy es del orden de varios milisegundos.

Los ensayos sobre el policarbonato cargado se realizaron a velocidades de impacto moderadas (0.5 m/s) y se colocó una masa en el martillo impactor de valor 2.508 kg.

Se pudo concluir que el aumento del % de carga inorgánica produce disminución en la resistencia al impacto del policarbonato cargado con vidrio, lo cual se contradice con las afirmaciones de que las cargas aumentan la resistencia, es preciso señalar que deben aumentar la resistencia mecánica de otro tipo pero disminuye la resistencia al impacto. Se probaron las dos hipótesis y resulto ser aceptada la hipótesis nula.

Palabras claves: Material compuesto, nanoesferas de vidrio, resistencia al impacto.

## Introducción.

**Marcas comunes:** Lexan, Makrofol, Makrolon

**Descripción general:** Termoplástico industrial similar al cristal, incoloro, amorfo, notable por su alta resistencia al impacto (elevada hasta  $-40^{\circ}\text{C}$ ) y alto módulo de elasticidad. Su resistencia a la temperatura y su estabilidad dimensional son buenas. Su resistencia química es baja así como sus propiedades de fatiga y desgaste. El grosor de las placas, que se puede encontrar en el mercado es de 4 a 16 mm. Es un material muy ligero, comparado con el grosor de la placa; aproximadamente es 10 a 12 veces menos pesado que el vidrio, a igualdad de espesor. El policarbonato tiene una gran resistencia al impacto a bajas velocidades. Estas placas pueden adaptarse en frío a estructuras con perfiles curvos de radio suave.

Tiene una densidad específica de aproximadamente  $1200\text{ Kg/m}^3$  comparado con el acero laminado y forjado que poseen una densidad de  $7600\text{ Kg/m}^3$  lo que significa que es justamente 7 veces más ligero que acero para igual volumen y constituye uno de los polímeros termoplásticos más populares como blindaje de vehículos.

Los principales productores son: **GE Plastics** y **Bayer**. E policarbonato es un termoplástico amorfo, muy resistente y se puede doblar en frío, es menos transparente que el PMM y es más caro que este. Se compone de monómeros formados por una molécula de Bisfenol A (la misma que se usa para fabricar resinas de epoxi) y un grupo de carbonato.

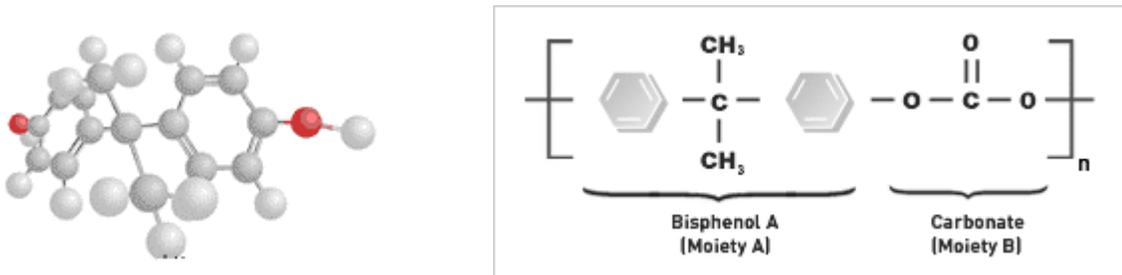


Figura 1. Policarbonato de Bisfenol A. Unidad Repetitiva.

El policarbonato se usa habitualmente en la fabricación de cristales antibalas y escudos para las fuerzas antidisturbios. Sus propiedades pueden verse en las tablas de este anexo.

Los disolventes que actúan sobre el policarbonato son el cloruro de metileno (diclorometano), el cloroformo (triclorometano), 1,2-dicloroetileno, tetracloroetano y clorobenceno. También disuelven en tetrahidrofurano como el metacrilato. El Bisfenol A se disuelve en Acetona y Benceno.

Los compuestos a base de policarbonato (PC) pertenecen al grupo de los plásticos técnicos y se suelen denominar también "engineering plastics". Este término define fundamentalmente sus principales ventajas y campos de aplicación: en las piezas técnicas, es muy valorada su excelente resistencia al impacto en un amplio margen de temperaturas permanentes, y su excelente transparencia permite una amplia gama de aplicaciones ópticas y en soportes de datos. En el sector de la construcción es utilizado por sus buenas propiedades retardantes de llama en comparación con materiales alternativos.

El policarbonato fue definido por primera vez hacia finales del siglo XIX. Sin embargo, no se comenzó a producir a gran escala hasta los años 1950 por las empresas Bayer (hoy Covestro) y General Electric (hoy Sabic) y, más adelante, por otros fabricantes. Además de las propiedades principales arriba

mencionadas, fueron las siguientes características las que también adquirieron gran relevancia: excelentes propiedades de aislamiento eléctrico, capacidad de esterilización y posibilidad de combinarlo con otros plásticos y con materiales inorgánicos en forma de cargas para buscar nuevas y mejores propiedades.

### El ensayo Charpy para plásticos.

La resistencia al impacto o energía absorbida al romper la probeta es igual a la diferencia entre la energía del péndulo antes y después del impacto. La diferencia de energía es una función de la disminución de la velocidad de rotación y puede computarse por el peso y la altura de la caída del péndulo antes del impacto y la altura de elevación después.

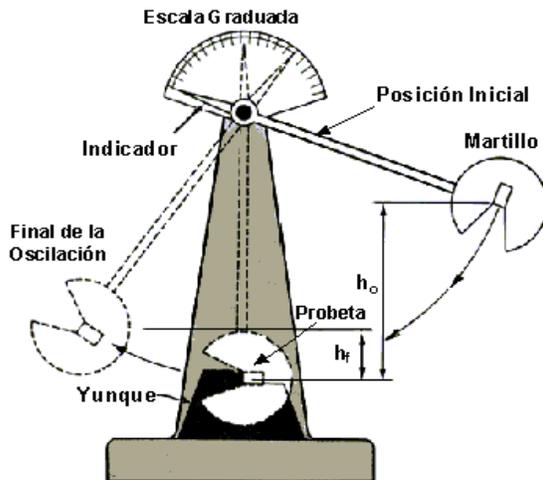


Figura 2 Vista general de una máquina de impacto Charpy.

En lo relacionado con la teoría de Materiales Compuestos, existe una tendencia a utilizar rellenos para mejorar algunas propiedades y abaratar el costo del material cuando la resina es muy cara como el policarbonato, no obstante el estudio de estos cambios de propiedades está limitado a algunos tipos de resinas y a algunas fibras, por lo que no se puede establecer como va a actuar una carga de mayor rigidez que la matriz en una determinada propiedad, por lo que se hace necesario investigar la influencia del tipo específico de carga en un composite determinado.

### Objetivos de la investigación

1. Determinar la resistencia al impacto del policarbonato (Makrolon) cargado con nanoesferas de vidrio.
1. Determinar experimentalmente si el % de carga influye significativamente en la resistencia al impacto del policarbonato cargado con nanoesferas de vidrio.

### Materiales y métodos.

Los materiales de partida para la fabricación de las probetas del termoplástico(PC), fueron el Lexan o Makrolon de la firma GE Plastic y Bayer, el cual se suministra a La EMI "Ernesto Che Guevara" para producciones de plástico que se realizan en esta. El proceso de Inyección se realizó de forma automática, así como la adición de la carga inorgánica según el diseño experimental propuesto.

A través de un dispositivo de extracción se lleva el material en forma de esferas pequeñas hasta una tolva donde este se va dosificando de manera exacta para ser inyectado a presión en el molde situado

en la parte inferior de la máquina de inyección. La temperatura de trabajo es de 250° C, lo que está en correspondencia con la temperatura de transición vítrea para este polímero. Las muestras obtenidas son situadas en una tobera hasta su enfriamiento posterior. Las dimensiones de las mismas fueron de 260x260 mm de largo y ancho y 10 mm de espesor. A partir de estas dimensiones se recortaron las probetas según la Norma NC- 30-23.

### Forma y dimensiones de las probetas para el ensayo de impacto por el método Charpy.

Las dimensiones guardan las relaciones geométricas establecidas en los protocolos de Norma del EGF [1990-a] y del ESIS29 [1991], así como de la Norma NC- 30-23.

Las entallas fueron mecanizadas en una entalladora marca CEAST de acuerdo a lo especificado en la normativa ASTM D-256. El radio de entalla es de 0,25 mm y el ángulo de la misma de 45° (CEADEN). Con posterioridad, y previamente a la realización de los ensayos las entallas se agudizaron mediante cuchilla manual dejando transcurrir un tiempo mínimo de dos horas antes de realizar el ensayo.

#### Preparación.

Se prepararon 5 mezclas de PC reforzado con diferentes fracciones en peso de nanoesferas de vidrio, las cuales fueron fabricadas en tres etapas:

- Mezclado en una extrusora de simple husillo.
- Homogenizado de la carga en una extrusora de doble husillo. COLLINS T-20.
- Moldeo por inyección de probetas en una inyectora METEOR 440/90' DE MATEU SOLE de 90 Tn de fuerza de cierre. En la primera etapa se dosifican cuidadosamente las cantidades de carga y matriz manteniendo las temperaturas del proceso bajas para no promover su degradación. El material premezclado se granuló y alimentó a la extrusora de doble husillo.

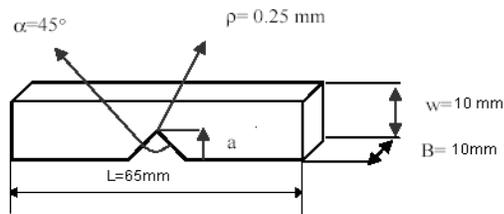


Figura 3. Probeta de ensayo de impacto por la Norma Cubana 30-23

Tabla 1. Dosificación de la carga mineral por probeta.

Probeta	% de carga nominal	% en peso
PC 0	0	0.00±0.00
PC10	10	10.16±0.03
PC15	15	14.78±0.014
PC25	25	25.38±0.07
PC40	40	40±0.012

El equipo de impacto pendular Charpy pertenece a la marca CEAST. El tiempo medio de duración del ensayo Charpy es del orden de varios milisegundos. Los ensayos sobre el policarbonato cargado se realizaron a velocidades de impacto moderadas (0.5 m/s) y se colocó una masa en el martillo impactor de valor 2.508 kg, mucho mayor que el peso de la probeta a fin y efecto de disminuir

la contribución de los efectos dinámicos y obtener unas condiciones en la prueba, estáticas [Martínez 1994-c 1994-e, 1994-f].

### Geometría.

La geometría de la sollicitación del ensayo Charpy es idéntica a la de flexión por tres puntos con la variante de la aplicación de una fuerza a través del martillo pendular. La probeta se encuentra simplemente apoyada y recibe el golpe del martillo pendular en punto medio.

Definiciones básicas.

- Rendimiento: Resistencia al impacto. [J\*m<sup>-2</sup>]
- Factor: % de carga inorgánica en la matriz. %.
- Niveles del factor: 5

Nivel 1 = 0%

Nivel 2 = 10%

Nivel 3 = 15%

Nivel 4 = 40%

Nivel 5 = 25%

Tratamientos: 5

Unidades experimentales: 15 muestras de policarbonato cargado 3 correspondientes a cada nivel.

Factores controlados.

El área de la superficie de impacto de las muestras cuyo valor promedio es 0,8 cm<sup>2</sup>.

### Tipo de diseño.

Se utilizó un diseño completamente al azar que se corresponde con un experimento unifactorial con a = 5 niveles del factor que es el % de carga en el compuesto y n = 3 repeticiones. Entonces el total de corridas experimentales es de 15, las cuales deben realizarse al azar y el orden de ejecución aleatorizarse.

Tabla 2

No.	Niveles del factor (%)	Observaciones		
1	0	R <sub>11</sub>	R <sub>12</sub>	R <sub>13</sub>
2	10	R <sub>21</sub>	R <sub>22</sub>	R <sub>23</sub>
3	15	R <sub>31</sub>	R <sub>32</sub>	R <sub>33</sub>
4	25	R <sub>41</sub>	R <sub>42</sub>	R <sub>43</sub>
5	40	R <sub>51</sub>	R <sub>52</sub>	R <sub>53</sub>

Corridas experimentales.

Tabla 3

No.	Niveles del factor (%)	Número de corridas experimentales		
1	0	1	2	3
2	10	4	5	6
3	15	7	8	9
4	25	10	11	12
5	40	13	14	15

Técnica del ensayo.

Cada probeta es ensayada siguiendo las mismas orientaciones, se coloca la muestra correctamente en los apoyos, tratando de mantener la simetría de la misma y seguidamente se coloca el martillo en

posición perpendicular a la normal, dejándolo caer desde la altura  $h$  con una velocidad  $V$ ., una vez terminado el procedimiento se anotan los valores que muestra la escala del instrumento.

Secuencia de prueba.

Tabla 4

Secuencia de prueba	No. de corrida	Carga inorgánica (%)
1	3	15
2	1	0
3	4	25
4	5	40
5	2	10
6	4	25
7	2	10
8	3	15
9	5	40
10	1	0
11	3	15
12	5	40
13	2	10
14	1	0
15	4	25

### Expresión de los resultados.

La resistencia al impacto se determina por

$$R_I = \frac{E}{A.S}, J/m^2$$

**Hipótesis de investigación:** El % de carga influye en la resistencia al impacto del policarbonato cargado con nanoesferas de vidrio.

### Hipótesis estadística:

$H_0$ : El aumento del % de carga no produce disminución en la resistencia al impacto del policarbonato cargado con nanoesferas de vidrio ( $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$ ).

$H_1$ : El aumento del % de carga produce reducciones en la resistencia al impacto del policarbonato cargado con nanoesferas de vidrio ( $H_1: \alpha_i \neq \alpha_j ; i \neq j$ ).

Tabla 5 Registro de los datos. Resultados del ensayo

Secuencia de prueba	No. de corrida	Carga inorgánica (%)	RI J*m <sup>-2</sup>
1	3	15	500
2	1	0	600
3	4	25	400
4	5	40	200
5	2	10	570
6	4	25	430
7	2	10	560
8	3	15	520
9	5	40	230
10	1	0	610
11	3	15	500
12	5	40	250
13	2	10	370
14	1	0	600
15	4	25	435

#### Análisis estadístico de los datos.

Se utiliza el software profesional Statgraphics Plus 2.1 para el análisis de los datos.

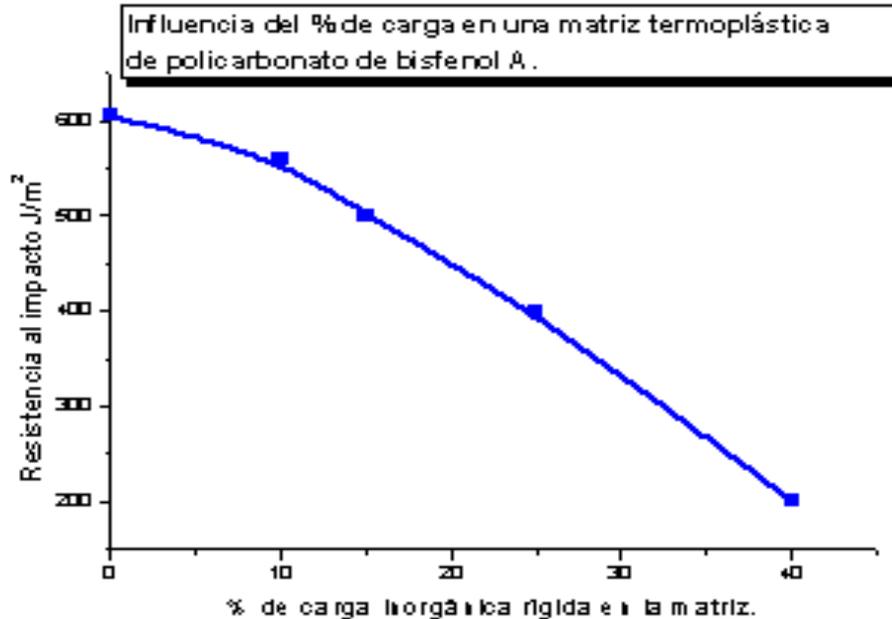
Tabla 7. ANOVA. Análisis de varianza.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Relación F	Valor de probabilidad
Entre grupos	239667	4	59916,7	21,62	0,001
Dentro de grupos	27716,7	10	2771,67	-	-
Total (Corr.)	267383	14			

La tabla ANOVA descompone la varianza de la resistencia al impacto de las probetas en dos componentes: un componente entre grupo y uno dentro del grupo. La relación F, la cual en este caso es igual a 21,62; es una relación entre el estimado entre grupo y el estimado dentro del grupo.

Ya que el valor de probabilidad de la prueba F es menor que  $\alpha = 0,05$  (error de tipo I, cuya probabilidad es llamada nivel de significación), hay una diferencia significativa estadísticamente entre la media de la resistencia al impacto de las probetas de un nivel a otro del % de carga inorgánica en el 95 % de nivel de confianza. Esto implica que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo que lo anterior constituye una prueba de hipótesis acerca de la influencia significativa del % de carga inorgánica en la resistencia al impacto de las probetas.

Para ilustrar esta afirmación en el gráfico siguiente se indica el comportamiento de la resistencia al impacto de la probeta para diferentes porcentos de carga inorgánica.



### Conclusiones de acuerdo a los resultados.

1. El aumento del % de carga inorgánica produce disminución en la resistencia al impacto del policarbonato cargado con vidrio.
2. Los mayores valores de resistencia se obtienen con los % de carga más bajos.
3. La aplicación del diseño experimental permitió expresar los resultados de forma confiable al realizarse tres réplicas del mismo.

### Bibliografía .

1. A. Biagiotti, D. Puglia & José. A Review on Natural Fibre-Based Composites-Part I. Structure, Processing and Properties of Vegetable Fibres. pages 37-68 M. Kenny. Journal of Natural Fibers Volume 1, issue 2 (2014).
2. A. Dellow, Advanced Compay. Bolletin 1, 01 (2000).
3. Bisanda and M.P. Ansell, Comp. Sci. Techno., 41, 165 (1991). (6) J. Gassan and A.K. Bledski, Polymer Composite, 18, 179 (2016).
4. Callister, w.d. & rethwisch, D. G: *Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução*. Nona Edição. 2016, LTC, 912, Brasil, 2016.
5. Carrillo, I.I.f: "Modificación de las propiedades interfaciales en materiales compuestos polietileno de Alta densidad-fibra de henequén", *División de Ciencias Básicas e Ingeniería*. 1998, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa: México. p. 64.
6. Designation: ASTM D 256 – 00 Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact resistance of Plastics.
7. George, J. Ivens & I. Verpoest. Proceedings of ICCM-12, 5-9. July. Paris (2010).
8. Enciclopedia del Plástico, (2012) XVII. Resina Epóxica, 1-3, 7-8. Instituto del Plástico Industrial
9. Gutowski Timothy G., *Advanced Composites Manufacturing*. Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA. JOHN WILEY & SONS, INC. 2007 pp 22-40.

10. Garcia, G.P. ; F.R.V. Diaz. ; J.L.Valin ; A.C. Kieling ; A.R. Torres: "Evaluation of Composite Materials With Fiber of Curauá Pineapple (Ananas Erectifolius)", *Review of Research*. v.4, p.1-7, 2015. ISSN: 2249-894X.
11. Milanese, A. C; M. O. H. Cioffi; H. J. C Voorwald: "Thermal and mechanical behaviour of sisal/phenolic composites", *Composites Part B: Engineering*, v. 43, n. 7, pp. 2843 – 2850, 2012.
12. Milanese, A. C; M. O. H. Cioffi; H. J. C Voorwald: "Thermal and mechanical behaviour of sisal/phenolic composites", *Composites Part B: Engineering*, v. 43, n. 7, pp. 2843 – 2850, 2012.
13. Sanyang M.L.; S.M. Sapuan; M. Jawaid; M.R. Ishak; J. Sahari: "Recent developments in sugar palm (Arengapinnata) based biocomposites and their potential industrial applications: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.54, 2016, pages 533–549, ISSN: 1364-0321 <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.037>.
14. Standard Nc: 1047/1983: "*Determination of the resistance to the break and of the elongation in the traction of the yarns. Testing method*".
15. <http://es.wikipedia.org>
16. <http://infomadera.net>
17. <http://www.interempresas.com>
18. <http://www.astromia.com>
19. <http://www.educared.net>
20. <http://www.plasticportal.net>
21. <http://www.tecnun.es>
22. <http://www.quiminet.com>

