

# Compuestos de Polímero Obtenidos de Desechos Mineros

**José Luis Soto Trinidad (Ph.D)**

Instituto Tecnológico de Santo Domingo, Santo Domingo, República Dominicana,  
jose.soto@intec.edu.do                      sotot\_joseluis@yahoo.es

**José Miguel Pimentel Medina**

Instituto Tecnológico de Santo Domingo, Santo Domingo, República Dominicana  
josepimentelm1@gmail.com

*"Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity" July 22 - 24, 2014 Guayaquil, Ecuador.*

## RESUMEN

En esta investigación se presenta el proceso de fabricación de nuevos materiales compuestos que tienen su matriz de resina epóxica, y poliéster reforzada con partículas de residuos granulares mineros, y la determinación de sus propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la compresión, a la flexión, al impacto y de microdureza al penetrador Vickers; para analizar el comportamiento mecánico ante determinadas acciones de esfuerzos en los mismos, ya que estas propiedades juegan un papel, totalmente, importante en para los compuestos empleados en aplicaciones estructurales. Además, la naturaleza de diferente de los productos obtenidos lleva a su comportamiento mecánico único. Asimismo, se determinó la conductividad y expansión térmica para evaluar el comportamiento a altas temperaturas combinado con su fragilidad inherente conduce a un problema especial de ingeniería que se denomina choque térmico (fractura parcial o completa del material como resultado de un cambio de temperatura. El propósito de haber elaborado, caracterizado y estudiado las propiedades mecánicas y térmicas decretadas en estos compuestos ha sido para darles un valor tecnológico al aplicarlos en el sector industrial, ya sea en la fricción de piezas, elementos de máquinas, recubrimientos, material aislante, entre otros usos al sustituir otros materiales existentes.

**Palabras claves:** *Materiales* compuestos, partículas, resina y residuos mineros.

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido al arrojamiento de residuos mineros en diferentes lugares de México, se han estado originando consecuencias que perjudican al medio ambiente [1-2]. Vista esta problemática, como política ambiental se han estado buscando soluciones para disminuir los daños ocasionados por estos desperdicios en las zonas aledañas a estos depósitos llamados presas [2]. Además, para darle un valor agregado a estos Jales, en esta investigación, se pretende aprovechar estos desechos como materia prima para la fabricación de compuestos de matriz resinosa, y una vez elaborados, determinar y analizar sus propiedades mecánicas y térmicas para darles diversas aplicaciones en la industria. La importancia de este trabajo para la ingeniería radica en que un material que no tiene ningún valor comercial y que además, está produciendo efectos negativos en los seres vivos, se combine para formar un compuesto cuyas características sean superiores a las de sus componentes (Jales y resina) [1-3].

## 2. ANÁLISIS EXPERIMENTAL

A temperatura ambiente, se mezclaron residuos mineros tratados (Jales) con resina epóxica agitándolos hasta gelar originando un nuevo compuesto llamado Jalepo. Luego, se conformaron las probetas en moldes de madera de acuerdo a la normativa ASTM [4]. Este mismo procedimiento se empleó para la fabricación del Jalpol, solo que este caso, se utilizó resina poliéster en vez de epoxi. Una vez fabricadas todas las muestras, éstas se analizaron en microscopio de barrido electrónico en bajo vacío para obtener sus composiciones químicas [1]. Finalmente, se realizaron los ensayos mecánicos para determinar la resistencia a la compresión (ASTM C 773-88) [5-6], flexión (ASTM C 674-88) [7] en la máquina servo-hidráulica MTS 810, microdureza en el microdurómetro Shimadzu para medir la huella Vickers (ASTM C 674-88) [8], al impacto en el péndulo Schenk Trabel (ASTM C 368-88) [9] y conductividad térmica en la máquina G.U.N.T. WL 900 (C 408 -88) [10].

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Principales propiedades mecánicas

Para explicar el comportamiento mecánico y térmico de estos nuevos materiales de matrices plásticas reforzadas con Jales, se llevaron a cabo las pruebas de resistencias a la compresión [5], al doblaje [7], microdureza [8], impacto [9] y conductividad térmica [10], en las cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

#### 3.1.1 Resistencia a la flexión

La tabla I lista los resultados del ensayo de flexión en los compuestos Jalepo y Jalpol [6-7].

TABLA I. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN EN LOS COMPUESTOS JALEPO Y JALPOL.

Tipo de Compuesto	Deflexión mm/mm	Módulo de Elasticidad (MPa)	Módulo Ruptura (MPa)
Jalepo	0.0956	47.7349	33.8775
Jalpol	0.0932	46.7061	32.3954

En esta tabla se observa que Jalepo tiene más resistencia a la flexión y mayor capacidad de deformación que Jalpol (fig. 1) debido a que los granos de residuos quedaron bien enlazados en matriz-epoxi de acuerdo a las proporciones de ingredientes que se utilizaron en el proceso fabricación de ambos materiales [3]. A pesar de las buenas propiedades que se lograron al mezclar resina epóxica con estos desechos, se consiguieron también, características similares al combinar estos minerales con laca poliéster originando menos distorsión temporal relacionada con el estiramiento de enlaces atómicos presente en este compuesto. Asimismo, el parámetro de resistencia a la flexión es el módulo de ruptura, el cual es un valor calculado a partir de los datos de este ensayo [6].

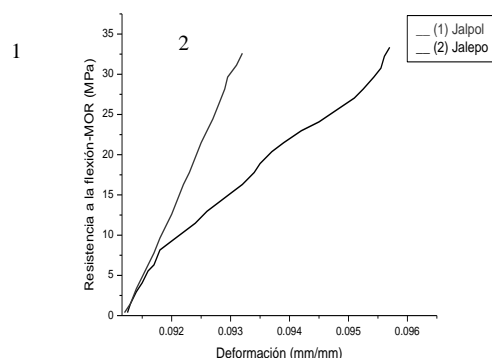


Fig. 1. Diagrama resistencia a la flexión-deformación de los compuestos Jalepo y Jalpol.

La figura 1 muestra que los compuestos estudiados no presentaron una cantidad significativa de distorsión plástica en el experimento de flexión, por lo tanto, la falla en la muestra se presentó en la región elástica. Esta fractura por fragilidad es porque estos materiales son duros [6].

### 3.1.2 Resistencia al impacto y al penetrador Vickers

La tabla II muestra los resultados del ensayo de microdureza Vickers y de resiliencia de los compuestos estudiados [8].

TABLA II. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE MICRODUREZA E IMPACTO.

Tipo de Compuesto	Dureza Vickers (HV)	Energía de Resiliencia (Jules)	Factor Impacto (Pa)
Jalepo	925	0.5	5
Jalpol	860	0.25	2.5

En la tabla II, se observa que de estos compuestos fabricados, Jalepo es el material más duro debido a que sus partículas de Jales quedaron más fuertemente vinculadas por medio de resina epóxica que el aglomerado de desechos con laca poliéster. Esta propiedad hizo que este compuesto epóxico cediera más energía de resiliencia duplicando su resistencia ante el otro compuesto en la prueba de impacto.

### 3.1.3 Resistencia a la compresión

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de estos compuestos de matriz resinosa se presentan en la tabla 3, la cual muestra que Jalepo tiene más resistencia en compresión, pero a la vez menor capacidad de deformación con relación Jalpol. Debido a que el arreglo molecular de los residuos en la matriz poliéster hacen que el producto tenga poca distorsión elástica [6]. Además, con esta prueba a diferencia de la de flexión, se verifica en ambos compuestos; que a mayor resistencia mecánica una menor deformación ocurre en éstos cuando están operando bajo estas condiciones.

TABLA III. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE JALEPO Y JALPOL.

Tipo de Compuesto	Esfuerzo de compresión (MPa)	Deformación mm/mm
Jalepo	80.6842225	0.6299963
Jalpol	77.5999912	0.7064117

La figura 2, muestra la resistencia al rompimiento en el ensayo de compresión de estos compuestos. La naturaleza frágil de la fractura de estos materiales se ilustra mediante curvas de esfuerzo-deformación, las cuales muestran sólo comportamiento elástico lineal y se observan las resistencias en compresión de 80.68 MPa y 77.59 MPa de Jalepo y Jalpol, respectivamente.

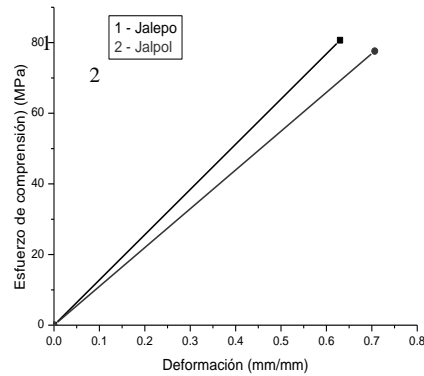


Fig. 2. Diagrama esfuerzo de compresión-deformación de los compuestos Jalepo y Jalpol.

### 3.1.4 Resultados del ensayo térmico

#### 3.1.4.1 Resultados de la conductividad térmica

Las tablas IV y V muestran los valores de las temperaturas y la potencia obtenidos durante el ensayo térmico para la determinación de la conductividad térmica usando la máquina G.U.N.T. WL 900 de acuerdo a la norma ASTM C 408 -88 [10]. Se tomaron mediciones de la temperatura con termopares tipo K a intervalos de distancias de 0.01m en el eje axial de las barras cilíndricas-Jalepo y Jalpol, respectivamente, tomando como punto inicial el agujero de cada una de las probetas localizado próximo al calentador del dispositivo.

TABLA IV. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE JALEPO

Temperaturas	Distancia	Potencia
°C	m	W
77.5	0	317
70.5	0.01	317
62.5	0.02	317
56.6	0.03	317
50.9	0.04	317
46.7	0.05	317
41.7	0.06	317
38.4	0.07	317
33.8	0.08	317
32.9	0.09	317
31.1	0.1	317
26.3	0.11	317

TABLA V. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE JALPOL.

Temperaturas	Distancia	Potencia
°C	m	W
76.3	0	335
69.7	0.01	335
63.8	0.02	335
55.4	0.03	335
49.8	0.04	335
47.6	0.05	335
42.2	0.06	335
39.7	0.07	335
35.2	0.08	335
33.5	0.09	335
32.1	0.1	335
25.3	0.11	335

Considerando la temperatura como una función de la longitud a largo de la muestra (tablas IV y V, y figura 3), se observa, que a medida que se incrementa la distancia, la temperatura va disminuyendo debido a las propiedades aislantes de los materiales estudiados, y el flujo de calor (potencia) permanece constante [6].

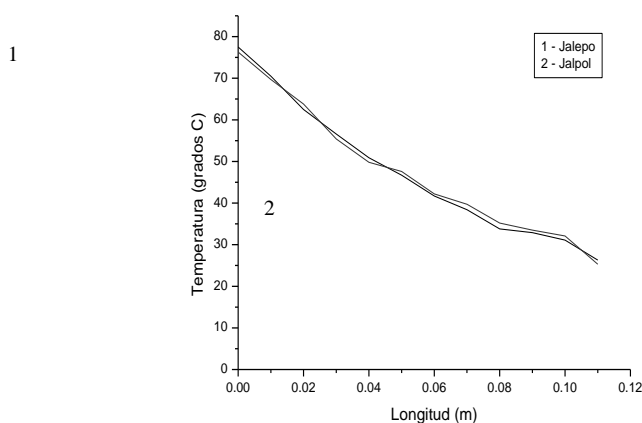


Fig. 3. Curvas de temperatura a lo largo de las probetas cilíndricas de Jalepo y Jalpol.

La figura 3 indica que en una distancia de 0.11m, el comportamiento de la temperatura con respecto a la longitud para ambos compuestos es similar debido a que éstos tienen características muy similares, ya que la resina epóxica y la poliéster producen efectos análogos en los Jales. Además, en esta gráfica se puede apreciar un comportamiento lineal en estos compuestos debido a que son malos conductores de la energía calorífica.

La conducción de calor en estado estable a través de la superficie de estos materiales, se calculó empleando la ecuación de Fourier (1), la cual es apropiada para describir este flujo térmico a través del cuerpo de estos productos [3-6].

$$q = -k \left( \frac{\Delta T}{\Delta x} \right) \dots\dots\dots(1)$$

En la ecuación (1),  $q$  es la densidad del flujo de calor,  $k$  es la conectividad térmica y  $(\Delta T / \Delta x)$  es el gradiente de temperatura.

En la figura 3 se presenta una caída de temperatura de 50 °C en estos compuestos, lo que habla de las buenas propiedades aislantes de éstos, considerando que las capacidades de transferencia de calor de un

refractario de arcilla quemada y de la porcelana son de 1.1 y 1.7, respectivamente [6], y al deducir de las tablas IV y V, se tiene, que 0.50 y 0.53 ( $W / m^{\circ}C$ ) son las conductividades térmicas del Jalepo y Jalpol, correspondientemente. Las cuales se encuentran graficadas en la figura 4; esta gráfica indica que a mayor diferencia de temperatura, mayor es la transmisión de calor en estos cuerpos sólidos de resinas reforzadas con Jales.

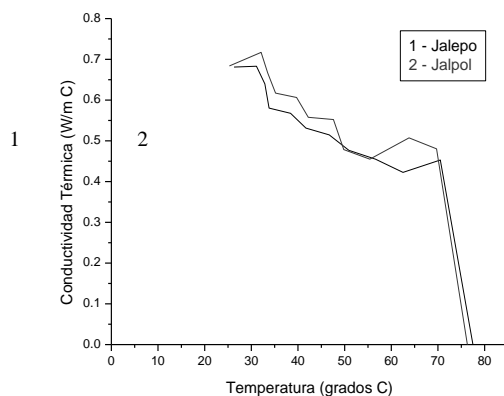


Fig.4. Conductividad térmica para Jalepo y Jalpol sobre un rango de temperaturas.

Con este estudio térmico se puede apreciar el mecanismo del choque térmico en estos nuevos productos, ya que este es una consecuencia de la conductividad térmica, debido a que los cambios rápidos de temperatura producen gradientes temporales en el materiales, lo que da como resultados un esfuerzo interno (residual) [6].

### 3.1.4.1 Resultados de la expansión térmica

Al igual que la conductivita térmica también se debe considerar el coeficiente de lineal de expansión térmica para apreciar el mecanismo de del choque térmico, por lo tanto la tabla VI muestra los resultados obtenidos en el ensayo de expansión térmica de los compuestos estudiados en este trabajo.

TABLA VI. COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA MEDIDO PARA LOS COMPUESTOS JALEPO Y JALPOL

Tipo de Compuesto	Coeficiente lineal de expansion térmica, 0-150 °C [ $mm / (mm * ^{\circ}C) \times 10^6$ ].
Jalepo	0.03881
Jalpol	0.04174

En la tabla VI, se muestra que la dimensión total de los compuestos Jalepo y Jalpol en una determinada dirección, L, se incrementa conforme aumenta la temperatura, T, esto está reflejado en el coeficiente lineal de expansión térmica indicado en la tabla mencionada.

## 4. CONCLUSIONES

Los residuos sólidos procedentes de las industrias mineras mexicanas pueden ser utilizados como materia prima para la fabricación de compuestos cuya matriz puede ser hecha de resina poliéster o epóxica.

Las moléculas de Jales bien vinculadas entre sí por una matriz resinosa hacen que los compuestos evaluados sean duros con buenas resistencias a la comprensión y al impacto. Además, las buenas propiedades de las resinas, especialmente, las que proceden de la laca epóxica, hacen que estos nuevos materiales tengan altas resistencias a la flexión y baja capacidad de transmisión de calor, la cual a la vez lo convierte en un buen aislante eléctrico y térmico.

En los ensayos realizados se observó que en ambos compuestos Jalpol y Jalepo se tiene propiedades de resistencias similares, por lo tanto, resulta más económico fabricar una pieza de desechos mineros aglomerados con laca poliéster que con epoxi, ya que es más fácil de extraer de los moldes y más barata.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica – IPN y al el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares por el apoyo brindado para que fuera posible la realización de este trabajo en sus laboratorios.

## 6. REFERENCIAS

1. Soto, J. 5 de Mazo del 2004. Caracterización Mecánica y Tribológica de Materiales Cerámicos Obtenidos de Residuos Sólidos Mineros, Tesis de Maestría, SEPI-ESIME-Instituto Politécnico Nacional, México.
2. Vite J, Díaz A, Carreño C, Vite M. Application of coupled thermostatted columns in civil engineering and for leaching heavy metals of wastes from foundry sands and mining industry. Environment and Pollution, Vol. 19, No. 1 (2003) 46-67.
3. Smith W F. 1998. Fundamento de la ciencia e ingeniería de materiales, Mc Graw Hill;, p. 513-19.
4. Askeland, D. and Phulé, P., The Science and Engineering of the materials. 4<sup>th</sup> ed. 2003: Tomson Brooks/Cole. (paginas corrosion 944-945, desgaste y erosion 970- 972; expansion termica, conductividad y choque térmico 925-936; compuestos 721-758)
5. Lee, W., Ceramic Microstructures Properties Control by Processing. 1er ed. 1994, London: Chapman & Hall (paginas preparación 222-250, tecnica de microscopía 124-220, inflkence microe st 67-121)
6. ASTM F 109-91. Standard Terminology Relating to Surface Imperfections in Composite.
7. ASTM C 773 - 88. Standard Test Method for Compressive Resistance of Composite.
8. Shackelford, James F. Ciencia de materiales para ingenieros. Tercera edición. Prentice hall Hispanoamericana, México, 1995, pp. 379–403.
9. ASTM C 674-88. Standard Test Method for Flexural Properties, Modulus of Rupture and elasticity of Composite.
10. ASTM C 674 - 88. Standard Test Method for Vickers Indentation Hardness of Composite.
11. ASTM C 368- 88. Standard Test Method for Impact Resistance of Composite.
12. ASTM C 408 – 88 Standard Test Method for Thermal Conductivity of Composite.
13. ASTM C 372 - 88 Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Composite.