

# Characterization of Thermo-Fixed Polymer Matrix Composite Reinforced with Cuban Zeolite Particles

## *Caracterización de material compuesto de matriz polimérica termofija reforzado con partículas de zeolita cubana*

M.Sc. Yosvani Guerra-Silva<sup>I</sup>, Dr. José Luis Valín-Rivera<sup>II</sup>, M.Sc. María Elena Fernández-Abreu<sup>III</sup>,  
M.Sc. Francisco Jesús Mondelo-García<sup>III</sup>, M.Sc. Daniel Díaz-Batista<sup>III</sup>, Dr. Hélio-Wiebeck<sup>IV</sup>,  
M.Sc. Henry Figueredo-Losada<sup>V</sup> y Dr. Alexander Alfonso-Alvarez<sup>V</sup>

<sup>I</sup> Empresa Cubana de Aeropuertos y Servicios Aeronáuticos S.A. Dirección Técnica. Rancho Boyeros, La Habana, Cuba.

<sup>II</sup> Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Ingeniería Mecánica, Chile. Quilpué, Valparaíso, Chile.

<sup>III</sup> Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Mecánica, Marianao, La Habana, Cuba.

<sup>IV</sup> Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais São Paulo/SP, Brasil.

<sup>V</sup> Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo - SP – Brasil.

**ABSTRACT.** The present work is about the characterization of composite materials with thermoset polymeric matrix, orthophthalic polyester type and reinforcement with Cuban zeolite particles from San Andres, Holguin. Authors used different methods like sifted, scanning electron microscope (SEM) and X-rays diffraction, thermal analysis and cation exchange volumetric methods to analyze zeolite particles. The composite material was analyzed, with the use of test-tube, by mechanical test (hardness, traction, impact).

**Keywords:** sifter, scanning electron microscope (SEM), X-rays diffraction, thermal analyzer, cation-exchange capacity

**RESUMEN.** El presente trabajo, trata sobre la caracterización varios materiales compuestos con matriz polimérica termofija, del tipo poliéster ortoftálico y refuerzo con partículas de zeolita en proporciones de 3, 5, 7 y 10 porciento. La zeolita es de origen cubano, procedente de San Andrés en Holguín. Las partículas de zeolita fueron caracterizadas con métodos de tamizado, microscopía electrónica de barrido (MEB), difracción de rayos X, analizador térmico y volumétrico. Al material compuesto se le realizaron ensayos de dureza, tracción e impacto, obteniéndose así los valores límites para cada tipo de material. El aumento del porciento de zeolita aumentó la resistencia a la tracción y disminuyó la resistencia al impacto. La dureza se mantuvo similar para cada material. La microcopia electrónica de barrido mostró características que propician la adherencia entre el polímero y la zeolita.

**Palabras clave:** tamizado, microscopía electrónica de barrido, analizador térmico, capacidad e intercambio catiónico.

## INTRODUCTION

In recent years, there has been a development in research and application of composite materials reinforced with natural clays such as zeolite, bentonite and kaolin, among others. These materials, used as reinforcement, are being studied to

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha habido un desarrollo en la investigación y aplicación de los materiales compuestos reforzados con arcillas naturales; como la zeolita, bentonita, caolín, entre otros. Estos materiales, usados como refuerzo, están siendo estudiados

replace, partially or entirely, synthetics in some applications of thermoset polymer matrix, since they have a high ratio of aspect as well as large surface area for the interaction of the clay mineral layer with the polymer molecules (Sharma, *et al.*, 2017). Loads on them should be low, because they have lower mechanical resistance. Clays improve high thermal stability and hardness, but with the disadvantage of the decrease in the resistance to impacts (CGEE, 2010). Also, they are used in various socio-economic activities as building materials such as cements, in metallurgical industry, in refractory-ceramic, in processes for ink, drugs (transport of medical substances), antitoxic, soil improvers, cleanses, purify or treat water drugs, phytosanitary, even in nanotechnology (García, *et al.*, 2014a,b).

The use of natural clays, such as zeolite, as a substitute for synthetic materials, is mainly because they are not toxic or harmful to health, have low density and are biodegradable. Besides, they present low energy consumption in the production process, have strong adhesive bond to some matrixes and produce residuals of low toxicity to the environment. In addition, they are used in the packaging industry because they are drying material (Kajtár, *et al.*, 2016), even with aseptic properties (Sánchez, *et al.*, 2017).

The use of powder particles, with properties similar to zeolite, in composite materials of orthophthalic unsaturated polyester resin, to repair composites in aeronautics, has achieved an increased in stiffness and surface hardness in areas including fixing holes, such as rivets and screws (Campbell, 2006). When adding a mixture of 10% zeolite in air-cured PORTLAND Type I cement, there was a 30% increase in uniaxial compression strength compared to pure cement (Vélez y Perugachi, 2012). Clay reinforcement's composites have the property of absorbing water, so their use in agriculture would be beneficial to avoid high water consumption. Recently, Sukenik *et al.* (2017) demonstrated that a clay reinforced composite removed cyanobacteria and cyanotoxins from lakes. This extends the use of this type of material in agriculture, for example, fish farming and irrigation of plantations.

The modification of superficial properties of zeolite with cationic surfactants, to improve the ability to slurp organic molecules, as chlorinated solvents, fuel components, ionizable organic solutes (analogs of benzene, aniline and phenol), has shown that the cation exchange capacity (CEC), could influence in the electrostatic bonding of zeolite particles with a polymeric matrix.

Although there are zeolite deposits in Cuba throughout the island and its reserves are estimated in millions of metric tons, there is no information on its use as reinforcement in thermoset matrix composites materials. Therefore, it is essential to determine the mechanical properties, such as impact strength, tensile, etc., of a composite material with that type of matrix, in function of zeolite percentage as reinforcement, to determine its feasibility in certain applications.

Materials will be characterized through impact, hardness and tensile tests, as well as by scanning electron microscopy analysis (SEM) of several thermoset polymeric matrix composite materials reinforced with cubic zeolite particles. The

para sustituir parcialmente y/o en su totalidad a los sintéticos en algunas aplicaciones de matriz termoestable, debido a que presentan una alta relación de aspecto y gran área de superficie para la interacción de la capa mineral de la arcilla con las moléculas de los polímeros (Sharma *et al.*, 2017). En estos materiales, las cargas actuantes deben ser bajas, porque tienen menor resistencia mecánica. Las arcillas, aportan alta estabilidad térmica y dureza, pero con la desventaja de la disminución de su resistencia al impacto (CGEE, 2010). También son usadas en la producción de diversos materiales, tales como: cementos, bloques refractarios-cerámicos, tintas, fármacos (transporte de sustancias médicas), antitóxicos, detergentes y para el desarrollo de diferentes procesos como por ejemplo: la purificación y tratamiento de agua, así como el mejoramiento de los suelos (Mondelo-García *et al.*, 2014a,b).

El empleo de las arcillas naturales, como la zeolita, en sustitución de materiales sintéticos, se basa principalmente en que no son tóxicas ni perjudiciales a la salud, tienen baja densidad, son biodegradables, presentan un bajo consumo de energía en el proceso de obtención, tienen buena adhesión en algunas matrices, producen residuos de baja toxicidad al medio ambiente. También, son usados en la industria de embalaje por ser un material secante (Kajtár *et al.*, 2017), incluso, con propiedades asépticas (Sánchez *et al.*, 2017).

El uso de partículas de talco, con propiedades similares a la zeolita, en materiales compuestos de resina de poliéster insaturado ortoftálico, para reparaciones de compuestos en la aeronáutica, ha logrado conseguir un aumento de la rigidez y dureza superficial en zonas que incluyen agujeros de fijación, como remaches y tornillos (Campbell, 2006). Al adicionar una mezcla de 10% de zeolita en un cemento PORTLAND Tipo I, curado al aire, se tuvo un aumento del 30% en la resistencia a la compresión uniaxial, en comparación con el cemento puro (Vélez y Perugachi, 2012). Los compuestos con refuerzos de arcilla tienen la propiedad de absorber agua, por lo que su uso en la agricultura sería beneficioso para el evitar altos consumos de agua. Recientemente, se demostró que un compuesto con refuerzo de arcillas elimina cianobacterias y cianotoxinas en lagos (Sukenik *et al.*, 2017) Esto amplía el uso de este tipo de material en la agricultura, como por ejemplo, cultivo de peces y el riego de plantaciones.

La modificación de las propiedades superficiales de la zeolita con surfactantes catiónicos, los que dan la capacidad de poder sorber moléculas orgánicas; como solventes clorados, componentes de combustibles, solutos orgánicos ionizables (análogos del benceno, anilina y fenol), ha mostrado, que la capacidad de intercambio catiónico (CIC), pudieran influir en lograr una unión electrostática de las partículas de zeolita con una matriz polimérica.

Aunque los yacimientos de zeolita en Cuba se encuentran a lo largo de toda la isla y sus reservas se calculan en millones de toneladas, no existe información sobre su uso como refuerzo en materiales compuestos con matriz termoestable. Por lo que se hace indispensable, determinar las propiedades (composición, resistencia al impacto, tracción) de un material compuesto con ese tipo de matriz, en función del porcentaje de zeolita, que pudiera determinar su factibilidad para determinadas aplicaciones. Por tanto, se caracterizarán los materiales a través de ensayos de impacto,

reinforcement has 3, 5, 7 and 10% of zeolite particles, in order to contribute to knowledge of this type of material, which has low energy consumption in the manufacturing process and is reinforced with natural zeolite.

This characterization brings theoretical-practical results of a material that is not harmful neither to the environment, nor to human beings, and allows recycling, as part of its life cycle. That provides the possibilities of its introduction and implementation in the industry.

Once the materials were manufactured and tests were carried out, it was possible to obtain the values of tensile and impact strength and hardness of the different composites, as well as the characterization of the clinoptilolite zeolite from San Andrés in Holguín.

## METHODS

The manufacture of composites based on polyester resin and zeolite clinoptilolite had five (5) variants. Variant No. 1, was only 100% polyester resin, because it aims to obtain a reference for comparison with the other four materials, made with concentrations of 3, 5, 7 and 10% of zeolite particles and designated as variants No 2, No 3, No 4 and No 5, respectively. This variation of the concentration, had as objective, to select the one with best properties of resistance to traction and hardness. Before manufacturing the above-mentioned materials, it is first necessary to know the characteristics of both compounds.

### Matrix and Reinforcement Materials

Zeolite was used as reinforcement material and a polymer was used as matrix, in this case, of unsaturated orthophthalic polyester resin, with low emission of styrene monomer, commercially available Distrition 5119, produced by the Polynt Company, in Italy. This polymer was chosen because it is widely used in repairs of composite components in aeronautics, and its properties are appreciated in Table 1.

dureza y tracción, así como, por análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB) de varios materiales compuestos de matriz de poliéster termoestable reforzado con partículas de zeolita cubana. Estos materiales no son nocivos al medio ambiente y ni al hombre, además permiten su manipulación y reciclaje, como parte de su ciclo de vida. Esto proporciona las posibilidades de introducción e implementación en la industria de implementos y construcción de maquinarias agrícolas, como parte de piezas de bajas prestaciones mecánicas, así como en el mejoramiento de las técnicas de cultivos.

Una vez fabricados los materiales y realizados los ensayos, se obtuvieron los valores de resistencia a la tracción, impacto y dureza de los diferentes compuestos, así como, la caracterización de la zeolita clinoptilolita de la región de San Andrés en Holguín.

## MÉTODOS

Fueron fabricadas cinco (5) variantes de estos materiales compuestos. La variante No 1, fue solo al 100% de resina de poliéster, debido a que tiene por objetivo obtener una referencia para comparación con los otros cuatro materiales, fabricados con concentraciones de 3, 5, 7 y 10% de partículas de zeolita y designados como variantes No 2, No 3, No 4 y No 5, respectivamente. Con esa variación del volumen de zeolita se determina la influencia de su concentración en las propiedades mecánicas, como son la resistencia a la tracción, impacto y dureza. Las características de cada material se presentan a continuación.

### Material de refuerzo y matriz

Como material de refuerzo, se usó la zeolita y como matriz un polímero, en este caso, de resina de poliéster ortoftálico, insaturado con baja emisión del monómero de estireno, de nombre comercial Distrition 5119, producido por la Empresa Polynt, en Italia. Fue escogido este polímero, debido a que es ampliamente utilizado en reparaciones de componentes de material compuesto en la aeronáutica, sus propiedades se aprecian en la Tabla 1.

TABLE 1. Polyester Distrition 5119 Properties  
TABLA 1. Datos del Poliéster Distrition 5119

Properties	Standard Test	Standard Values
Color	RS13F	Light yellow
Odor		Styrene
Apparent density	ISO 2811	1.1-1.15 g/cm <sup>3</sup>
RVF Viscosity, s 2 rpm	GM025	580-700 mPa·s
Contents of styrene monomer	RS06C	31-35%
Gel time	RS13G	20.00-26.00 min
Hardness time	RS13G	31.00-43.00 min
Exothermic peak	RS13G	140-170°C
Flashpoint	EN 22719	31°C

Polyester resins have low viscosity, low percentage of non-volatiles and good impregnation with fiber reinforcements. Besides, they have suitable gel time and rapid unmolding and they are translucent and thixotropic. Once cured, they are in-

Las resinas de poliésteres presentan baja viscosidad, bajo porcentaje de no volátiles, buena impregnación con refuerzos de fibra, adecuado tiempo de gel y rápido desmolde, es translúcida y tixotrópica. Una vez curadas, son infusibles e

fusible and insoluble, with excellent cross-linking, good transparency, high refractive index, high dimensional stability, good mechanical properties; moreover, they have good resistance to chemical agents and high hydrolytic resistance (He, *et al.*, 2017; Wang, *et al.*, 2016).

This polyester resin is used as a thermoset polymer, which must be subjected to a curing or polymerization process (three-dimensional cross-linking or reticulation of the resin chains with the monomer) so that the polymer passes from a liquid to an infusible solid state. For the execution of this process, it is necessary that the resin react with catalysts.

The catalyst used is methyl-ethyl ketone peroxide (MEKP), commercially available Curox M-302 from GmbH & Co. KG, Germany. This is a mixture of some types of peroxide compounds and it is the one recommended in the technical sheet of polyester Distritón 5119, in which it is added to 0.8% of the volume thereof. Its data are shown in Table 2.

insolubles, con excelente reticulación, buena transparencia, elevado índice de refracción, alta estabilidad dimensional, buenas propiedades mecánicas, buena resistencia a los agentes químicos y alta resistencia hidrolítica (He *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2016).

Dicha resina de poliéster, empleada como un polímero termofijo, se somete a un proceso de endurecimiento (entrecruzamiento tridimensional o reticulación de las cadenas de la resina con el monómero) para que pase de un estado líquido a un estado sólido infusible. Por lo que se necesita el uso de catalizadores. El catalizador utilizado, fue el Peróxido de metil-etil-cetona (PMEC-español o MEKP-inglés), de nombre comercial Curox M-302 de la Empresa Estados Iniciadores GmbH & Co. KG de Alemania. Este es una mezcla de algunos tipos de compuestos de peróxidos y es el recomendado en la ficha técnica del poliéster Distritón 5119. Sus datos se muestran en la Tabla 2.

**TABLE 2. Curox 302 Data**  
**TABLA 2. Datos del Curox M-302**

Physical state and color	Liquid and colorless
CAS number	1338-23-4
Formula	C4H10O4p
Flashpoint	56°C, standard: ISO 3679, Seta-Flash
Fusion point/interval	-10 a -5.5°C
Vapor pressure	0.184 Pa a 25°C
Density	1.02 g/cm <sup>3</sup> a 20°C
Water solubility	Approximately 6.5 g/L a 20°C
Dynamic viscosity	13 MPa·s a 20°C
Refractive index	1.431 a 20°C

The critical temperature of an initiator indicates at what temperature it generates rapidly free radicals. In the case of PMECC, its critical temperature in unsaturated polyester resins is 80°C. As in the present work, it is desired to produce the composites at room temperature, the PMECC primer is combined with the cobalt octoate accelerator.

The accelerator used was 6% cobalt octoate in xylene, commercial name SORODRY cobalt 6% xylene, produced by Comargo Material Composite Company S.L., Spain. It is recommended in the technical sheet of polyester Distritón 5119, in which, it is added to 0.3% of the volume thereof. Its data are presented in Table 3.

La temperatura crítica de un iniciador, indica, a que temperatura es a la que este, en prueba, rápidamente genera radicales libres. En el caso del PMECC, su temperatura crítica en resinas poliéster insaturados es de 80°C. Como en el presente trabajo, se desea elaborar los materiales compuestos a temperatura ambiente, el iniciador PMECC se combina con el acelerador Octoato de Cobalto.

El acelerador empleado fue el Octoato de Cobalto al 6% en Xileno, de nombre comercial SORODRY Cobalto, producido por la Empresa Comargo Material compuestos S. L., España. Es el recomendado en la ficha técnica del poliéster Distritón 5119, el cual se adiciona al 0,3% del volumen del mismo. Sus datos se presentan en la Tabla 3.

**TABLE 3. Cobalt Octoate Data**  
**TABLA 3. Datos del Octoato de Cobalto**

Synonyms: Cobalt 2-ethylhexoate, Cobalt bis (2-ethylhexanoate), Cobalt octoate.	
Formula	(C8H16O2)2Co
Composition	N.R.
CAS number	136-52-7
UN number	N.R.
Physical state	Liquid
Color and odor	Reddish violet, with odor of hydrocarbon
Specific gravity (water=1)	1.013/25°C
Flashpoint	48°C
Vapor density	Greater than 1

The cobalt octoate produces an optical bleaching effect on the materials to which it is added and is an extremely active oxidizing agent. It is used as an accelerator in the cross-linking reaction of the polyesters associated with MEKP, whose reaction offers an almost ideal system for curing at room temperature, influencing its amount in gel time and curing speed.

### Characterization of Natural Clinoptilolite Zeolite

Zeolite, as natural clay and consisting predominantly of aluminum silicates, has properties such as white to pink color, ion exchange and reversible desorption of water (Campbell, 2006; Cekja, *et al.*, 2007). The structure of zeolite presents canals and cavities of molecular dimensions in which are compensating cations, water molecules or other adsorbents and salts. This type of microscopic structure causes the zeolites to have an extremely large internal surface, between 500 and 1000 m<sup>2</sup>/g, relative to their external surface. However, this surface is poorly accessible for macromolecular type contaminants (Cekja, *et al.*, 2007). In the manufactured composites, clinoptilolite zeolite type was used which belongs to the group of heulandita (monoclinic structural system, C4-C4-T1) from San Andrés, Holguín processing plant. This type of zeolite is white, with flashpoint of 1300°C, density of approximately 1.69 g/cm<sup>3</sup>, apparent density of 0.98 g/L, pH of 7.6, water retention at 30% and hardness (Mohs scale) between 3.5 to 4.0.

### Granulometric Analysis

To obtain the degree of quality and the size of zeolite, a granulometric analysis of zeolite is performed according to Cuban standard NC: 625: 2008.

### Scanning Electron Microscopy

Through scanning electron microscopy, images of the zeolite were obtained and its chemical composition was determined.

### Analysis of the Mineralogical Composition or Phases

To determine mineralogical or phase composition of clinoptilolite zeolite, X-ray diffraction was used; in which, the quantitative results of the presence of Clinoptilolite, Heulandite and Mordenite are obtained. This analysis is performed according to the Cuban standard NC: 630: 2008 and NC: 627/2008. The pulverized sample is analyzed in a set formed by an automated diffractometer, with a Bragg-Brentano focusing system, coupled to a computer, where a diffractogram is obtained, as shown in Figure 1 and summarized in the Table 4.

El Octoato de Cobalto, produce un efecto de blanqueo óptico sobre los materiales a los que es agregado y es un activísimo agente de oxidación. Se emplea como acelerador en la reacción de reticulación de los poliésteres asociados al MEKP, cuya reacción, ofrece un sistema casi ideal para el curado a temperatura ambiente, influyendo su cantidad en el tiempo de gel y la velocidad de curado.

### Caracterización de la zeolita clinoptilolita natural

La zeolita, como arcilla natural y constituida predominantemente por silicatos de aluminio, tiene propiedades como: color blanco al rosado, el intercambio de iones y la desorción reversible del agua (Campbell, 2006; Cekja *et al.*, 2007). La estructura de la zeolita presenta canales y cavidades de dimensiones moleculares en las cuales se encuentran los cationes de compensación, moléculas de agua u otros adsorbentes y sales. Este tipo de estructura microscópica, hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande, entre 500 y 1 000 m<sup>2</sup>/g, con relación a su superficie externa. Sin embargo, esta superficie es poco accesible para los contaminantes de tipo macromolecular (Cekja *et al.*, 2007). En los compuestos fabricados, se empleó una zeolita del tipo clinoptilolita, perteneciente al grupo de la heulandita (sistema estructural monoclinico, C4-C4-T1), proveniente de la planta procesadora de San Andrés, Holguín. Este tipo de zeolita clinoptilolita es de color blanco, con punto de fusión de 1 300°C, densidad aproximada de 1,69 g/cm<sup>3</sup>, densidad aparente de 0,98 g/L, retención de agua al 30%, pH de 7,6 y dureza (escala de Mohs) que oscila entre 3,5 y 4,0.

### Análisis granulométrico

Para obtener el grado de calidad y el tamaño de la zeolita se realiza un análisis granulométrico o de tamizado de la zeolita, según la norma cubana NC 625: 2008.

### Microscopía electrónica de barrido

Por medio de la microscopía electrónica de barrido, se pudieron obtener imágenes de la zeolita y determinar su composición química (MEB-EDS).

### Análisis de la composición mineralógica o fases

La determinación de la composición mineralógica o de fases de la zeolita se realiza mediante difracción por rayos x (DRX), en el cual, se obtienen los resultados cuantitativos de la presencia de Clinoptilolita, Heulandita y Mordenita. Este análisis, se realiza según la norma cubana NC 630:2008 y la NC 627:2008. La muestra pulverizada es analizada en un difractómetro automatizado, con sistema de focalización Bragg-Brentano, acoplado a una computadora, donde se obtiene un difractograma, mostrado en la Figura 1 y resumido en la Tabla 4.

TABLE 4. Results of the Mineralogical Composition or Phases of Clinoptilolite  
TABLA 4. Resultados de la composición mineralógica o fases de la clinoptilolita

Phases	Clinoptilolite	Mordenite	Zeolite Total	Montmorillonite	Calcite
[%]	50	28	78	11	1

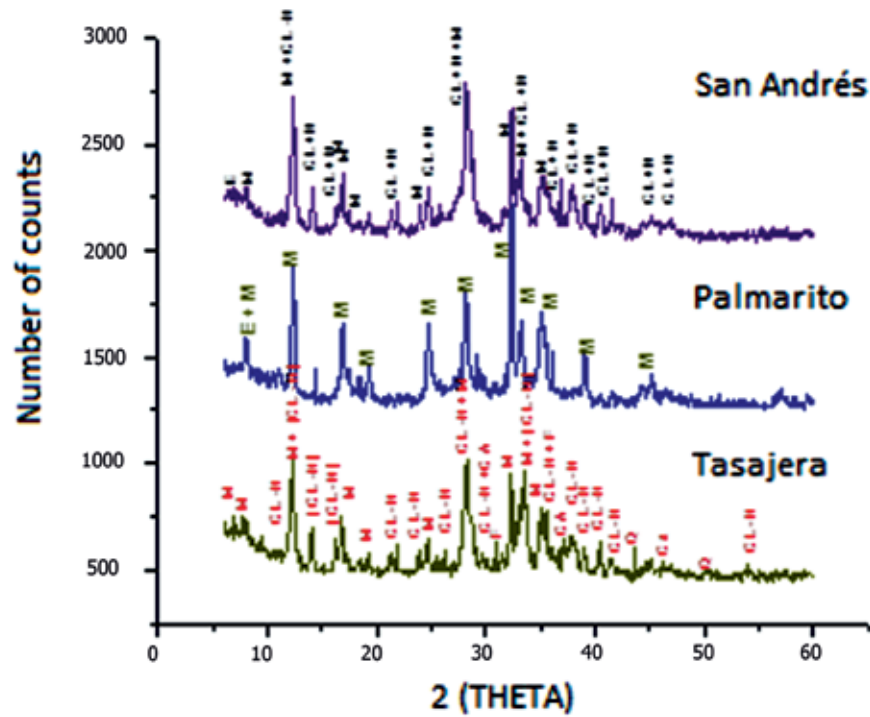


FIGURE 1. Mineralogical Composition of the Clinoptilolite Zeolite from Three Reservoirs in Cuba  
 FIGURA 1. Composición mineralógica de la zeolita clinoptilolita de tres yacimientos en Cuba.

**Differential Thermal Analysis (DTA) and Thermal Gravimetric (TGA)**

As a result of DTA and TGA analyzes, the amounts of clay (Montmorillonite) and calcite present in the zeolite are obtained. This analysis is performed through Cuban Standard NC: 629/2008 and Cuban Standard NC: 627/2008. The pulverized sample is placed in a set formed by a thermo-analyzer coupled to a computer, where a thermogram is obtained. See Figure 2.

**Análisis térmico diferencial (ATD) y térmico gravimétrico (ATG)**

Como resultado de los análisis de ATD y ATG, se obtienen resultados cuantitativos de la presencia de arcilla (Montmorillonita) y calcita presente en la zeolita. Este análisis, se realiza por medio de la norma Cubana NC 629:2008 y la norma cubana NC 627:2008. La muestra pulverizada se coloca en un conjunto formado por un termoanalizador acoplado a una computadora, donde se obtiene un termograma, ver Figura 2.

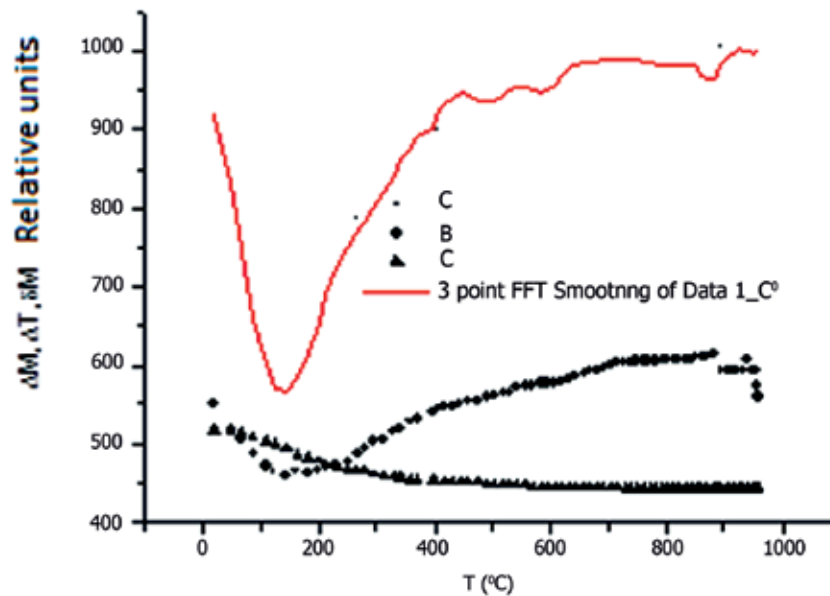


FIGURE 2. Thermogram of Clinoptilolite Zeolite from San Andrés, Holguín.  
 FIGURA 2. Termograma de la zeolita clinoptilolita de San Andrés, Holguín.

## Cation Exchange Capacity Analysis

This volumetric method is used for the determination of the cationic capacity with values higher than 2meq/100g, and is made by Cuban Standard NC: 626/2008. Marconi method was used to find the previous value of CEC in the zeolite and the results are presented in Table 5. To use the sample of clay mineral or zeolite by this method, the sample is prepared previously by treatment with reagent of ammonium acetate nitrate in solution, with electromagnetic stirring for 12-24 hours, rest and subsequent washing with ethyl alcohol, rinse by centrifugation and drying.

The zeolite sample possesses a total cation exchange capacity above 120 meq/100 g. This characteristic provides the chemical modification of its surface. The cationic composition indicates that it belongs to the calcic-sodium type. The zeolite was used after being processed industrially, without receiving any further treatment.

TABLE 5. Cationic Composition of Clinoptilolite Zeolite  
TABLA 5. Composición catiónica de la zeolita clinoptilolita

Cations	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Sum of Cations
CEC. meq/100 g	51.05	5.0	43.94	27.42	127.41

## Manufacturing and Tests of the Composite Materials

The manufacture and characterization of the materials is divided into several parts, which are described below.

### Manufacturing Processes of the Composite Materials

In the molding process of the polyester polymer matrix composite, the curing rate is sufficiently slow at room temperature to give adequate impregnation time of the reinforcement, therefore, the fabrication technology of these composites is performed in four consecutive steps:

- Preparation of the mold (cleaning and covering with the mold release agent) and materials (weighing and measuring).
- Adaptation of the resin (activated and catalyzed) impregnated with the reinforcement in the mold.
- Curing time or crosslinking of the resin in the mold.
- Removal of the final part and final curing time.

### Molds

The selected process is molding without pressure and in cold, being made in a simple mold consisting of two crystals separated with a flexible element, which vertically arranged, contain the polyester resin and the portion of zeolite to be molded, according to a manufacture variant. The connection of these components is guaranteed by the use of clamps.

The molding process was without pressure, cold and it consists of four consecutive steps:

Preparation of the mold and materials: Always, at the beginning of each molding, the mold (both parts) must be cleaned of the residues that may have remained in the previous molding, preferably with alcohol. Then, impregnated with the release agent. It is guaranteed to obtain 3, 5, 7 and 10% of zeolite, by

## Análisis de la capacidad de intercambio catiónico

Este método volumétrico, es usado para la determinación de la capacidad catiónica con valores superiores a 2meq/100 g, y se realiza por medio de la norma cubana NC 626:2008. El método Marconi, fue usado para hallar el valor anterior de CIC en la zeolita y los resultados se presentan en la Tabla 5. Para llegar a utilizar la muestra de mineral arcilloso o zeolita por este método, se prepara previamente la muestra por tratamiento con reactivo de nitrato acetato de amonio en disolución con agitado electromagnético por 12-24 horas, con reposo y lavado posterior con alcohol etílico en centrifugado de muestra y secado.

La muestra de zeolita, posee una capacidad de intercambio catiónica total por encima de 120 meq/100 g. Esta característica, favorece la modificación química de su superficie. La composición catiónica indica que la misma pertenece al tipo cálcicasódicas. La zeolita utilizada solo fue empleada posterior a su procesado industrial, sin recibir tratamiento alguno posterior.

## Fabricación y ensayos de los materiales compuestos

La fabricación y caracterización de los materiales, está dividida en varias partes, las cuales se describen a continuación:

### Procesos de obtención del material compuesto

En el proceso de moldeo del compuesto de matriz polimérica de poliéster, la velocidad de curado es suficientemente lenta a temperatura ambiente, como para dar tiempo a una adecuada impregnación del refuerzo, por tanto, la tecnología de fabricación de estos materiales compuestos se realiza en cuatro etapas consecutivas:

- Preparación del molde (limpieza y cubrir con el agente desmoldeante) y de los materiales (pesaje y medición).
- Adaptación de la resina (activada y catalizada) impregnada con el refuerzo en el molde.
- Tiempo de curado o reticulación de la resina en el molde.
- Desmoldeo de la pieza final y tiempo de curado final.

### Moldes

El proceso seleccionado, es el moldeo sin presión y en frío, realizándose en un sencillo molde que consta de dos cristales separados con un elemento flexible, que, dispuestos verticalmente, contienen la resina poliéster y la porción de zeolita a moldear. La unión de dichos componentes se garantiza con la utilización de mordazas.

El proceso de moldeo consta de cuatro etapas consecutivas:

Preparación del molde y de los materiales: Siempre, al inicio de cada moldeo, el molde (ambas partes) se debe limpiar de los restos que pueden haber quedado en el anterior moldeo, preferentemente con alcohol. Luego, se impregna con el agente desmoldeante. Se garantiza la obtención del 3, 5, 7 y 10% de

weighing. A proportion of 0.3% of cobalt octoate is added to the polyester resin to activate it.

Adaptation of the resin (activated and catalyzed) impregnated with the reinforcement in the mold: Each portion of zeolite was pre-mixed with the activated polyester resin 24 hours before the molding, to allow the activated resin to penetrate into the canals and pores of the zeolite particles and achieve a quality interface. Then, to the pre-mix of activated resin + zeolite, the Curox M-302 catalyst is added and then it is poured into the mold. In the case of the 100% variant of polyester resin, it was simply catalyzed (0.8% Curox M-302) and poured into the mold.

Curing time or crosslinking of the resin in the mold: Generally, in this step, it is necessary to take into account, that while the activated resin is catalyzed, there is a time of about 30 minutes to complete the molding, before the gel process begins.

Removal of the final part and final curing time: the plates of all variants were placed in a dry and ventilated place to finish the curing process to proceed to obtain specimens for tensile and impact tests, by means of cutting tools with the dimensions according to the standards of these tests.

## Test Performed

The tensile tests were carried out on the universal traction test machine IBERTEST, whose unit of measurement is kN, scale 1/1, maximum capacity of 100 kN, with local temperature 23°C and controlled constant humidity of 60%, with a test speed of 0.1 kN/s. The standardization of the specimens was performed according to ASTM D 3039 Standard, the dimensions were: thickness: 3 mm, length: 250 mm and width: 30 mm. Five specimens were tested for each variant of composite material. The tensile strength values of the test specimens of each variant were averaged.

Hardness test was performed with an LX-D shore durometer, 20-90 HD range, used for plastic materials and elastomers and it was made according to ISO 868/2000 Standard. Six measurements were made for each composite variant.

Impact tests were performed in the Izod Time Group Inc. XJU-22 impact machine with mechanical dial display and with the following characteristics: energy between 11 and 22 J, pendulum velocity of 3.5 m/s, impact arm of 0.322 mm, pendulum moment of 11.3419 Nm, minimum scale = 1 J. The samples for the Izod test were performed according to ASTM D 256: 2010 Standard. Dimensions: thickness 3 mm, width: 15 mm and length: 63 mm. Six specimens were tested for each composite variant and the loading values were averaged to the impact fracture of each variant. The breakage energy values ( $E_i$ ) of each variant were averaged.

## RESULTS AND DISCUSSION

As result of the granulometric analysis it was obtained that more than 90% were particles smaller than 0.074 mm (74 microns) corresponding to the 200 mesh sieve. Therefore, the clinoptilolite zeolite used is of quality degree I, according to particle size.

zeolita, mediante su pesaje. A la resina Poliéster se le añade un 0,3% de Octoato de Cobalto para activarla.

Adaptación de la resina (activada y catalizada) impregnada con el refuerzo en el molde: Cada porción de zeolita, fue mezclada previamente con la resina poliéster activada con 24 horas de antelación al moldeo, para permitir, que la resina activada penetre en los canales y poros de las partículas de zeolita y lograr una interface de calidad. Luego, a la mezcla previa de resina activada + zeolita, se le añade el catalizador Curox M-302 y luego, se vierte en el molde. En el caso de la variante de 100% de resina Poliéster, esta fue simplemente catalizada (al 0,8% de Curox M-302) y vertida en el molde.

Tiempo de curado o reticulación de la resina en el molde: De forma general, en este paso, hay que tener en cuenta, que a la vez que la resina activada es catalizada, se tiene un espacio de tiempo de cerca de 30 minutos para terminar el moldeo, antes de que comience el proceso de gel.

Desmoldeo de la pieza final y tiempo de curado final: Las placas de todas las variantes fueron colocadas en un lugar seco y ventilado para que culmine el proceso de curado, para proceder a la obtención de las probetas de tracción e impacto, por medio de herramientas de corte con las dimensiones según las normas de estos ensayos.

## Ensayos realizados

Los ensayos de tracción fueron realizados en la máquina de ensayo de tracción universal IBERTEST, con capacidad máxima de 100 kN, la temperatura del local fue de 23°C y humedad controlada al 60%, la velocidad usada en el ensayo fue de 0,1 kN/s. La normalización de los cuerpos de prueba se realizó según las normas ASTM D 3039:2014, donde, las dimensiones escogidas fueron: espesura: 3 mm, largo: 250 mm y ancho: 30 mm. Fueron ensayadas cinco probetas por cada variante de material fabricado. Se promediaron los valores de carga a la rotura a tracción de las probetas de cada variante.

El ensayo de dureza, se realizó con el durómetro LX-D shore, con capacidad entre 20-90 HD, utilizado para materiales plásticos y elastómeros. Fue realizado según por la norma ISO 868:2000. Fueron realizadas seis mediciones por cada variante de material compuesto.

Los ensayos de impacto, se realizaron en una máquina Izod Time Group Inc. XJU-22, con las siguientes características: energía entre 11 y 22 J, velocidad del péndulo de 3,5 m/s, brazo de impacto con 0,322 mm, momento del péndulo de 11,3419 N-m y sensibilidad del J. La normalización de las muestras de ensayo se realizó según las normas ASTM D 256: 2010, donde, las dimensiones escogidas fueron: espesura 3 mm, ancho: 15 mm y largo: 63 mm. Fueron ensayadas seis probetas por cada variante de material compuesto y se promediaron los valores de carga a la rotura a impacto de cada variante. Los valores de energía de rotura al impacto ( $E_i$ ) de cada variante se promediaron.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del análisis granulométrico se obtuvo que más del 90% correspondía a partículas menores de 0,074 mm (74 micras) correspondiente al tamiz 200 mesh. Por lo que la zeolita clinoptilolita es de grado de calidad I, según el tamaño de la partí-



In the SEM images of the zeolite, crystal structure elongated and presence of channels oriented inward was observed, as shown in Figure 3. The zeolite sample has a high  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  molar ratio, ranging from 7.0 to 12.0, a characteristic feature of these high silica minerals. Being favorable the relation between both allowing good thermal stability and resistance to acids. The chemical composition of the natural clinoptilolite zeolite is referred in Table 6.

En las imágenes de MEB de la zeolita, se aprecia la estructura de cristales de forma alargada y la presencia de canales orientados hacia su interior, ver Figura 3. La muestra de zeolita, presenta una alta relación molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , que oscila entre 7,0 y 12,0, aspecto característico de estos minerales de alta sílice. Siendo favorable la relación entre ambos, permitiendo buena estabilidad térmica y resistencia al ataque de los ácidos. La composición química de la zeolita clinoptilolita natural es expuesta en la Tabla 6.

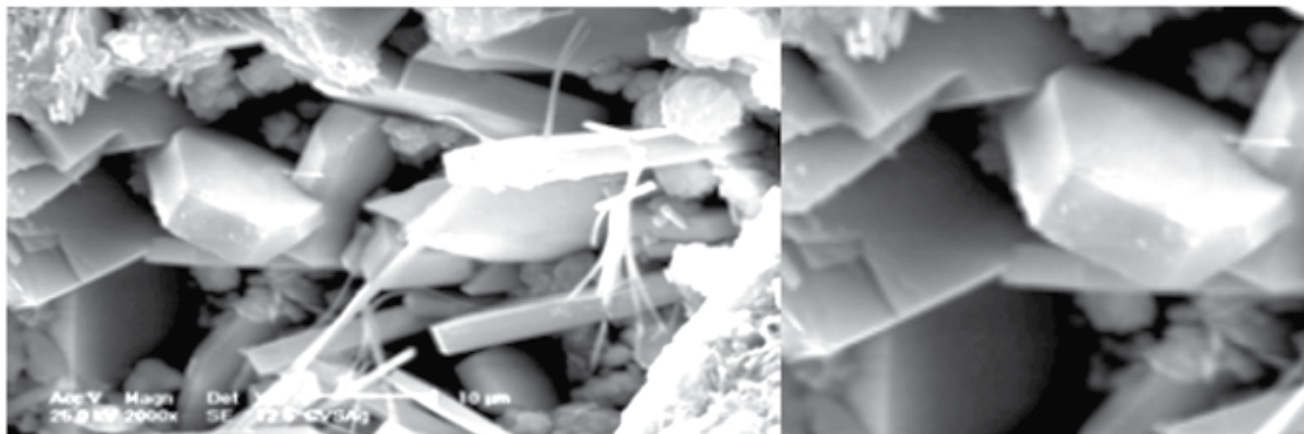


FIGURE 3. SEM at 2000X of Clinoptilolite Crystals  
 FIGURA 3. MEB a 2000X de los cristales de clinoptilolita.

**TABLE 6. Chemical Composition of Natural Clinoptilolite Zeolite**  
**TABLA 6. Composición química de la zeolita clinoptilolita natural**

Elements	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	PPI
[%]	69.5	10.48	1.48	1.61	1.34	0.82	2.59	10.94

As result of the tensile tests, it is shown in Figure 4, that the particulate variants of zeolite with 3, 5, 7 and 10% have a tensile strength higher than the pure polyester polymer. The tensile strength increases with the increase of the zeolite percentage, with the highest value of 34.63 MPa corresponding to the particulate composite variant of 10% zeolite.

The reason for the increase in tensile strength is that the magnitude of the positive phenomena exceeds the magnitude of the negative phenomena. As positive phenomena are considered the following: the high hardness and stiffness of zeolite particles, the strong stable binding bond, regular micrometric level of the surface of the particle itself with the interface of the polymer matrix maintaining this characteristic even after the applied overload. The uniform distribution of the zeolite particles in the matrix without accumulations and/or bundles that would cause appreciable stress concentration, which could lower the tensile and/or stress value of the load in the polymer matrix of the composite material before the plastic deformation of the polymer matrix. As a negative phenomenon it was found that, the micrometric scale particle behave as an imperfection or defect, but it does not negatively influence its resistance from 3% to 10% zeolite.

In Figure 5, the results of the hardness tests are showed. Pure matrix material has lower hardness values as compared

Como resultado de los ensayos de tracción, mostrados en la Figura 4, se obtiene que las variantes de material compuesto con refuerzo de zeolita variando en 3, 5, 7 y 10% presentan una resistencia a la tracción superior al material de resina de poliéster. La resistencia a la tracción aumenta con el aumento del porcentaje de zeolita, correspondiendo el mayor valor de 34,63 MPa a la variante de material compuesto con refuerzo de 10% de zeolita.

La causa del incremento de la resistencia a la tracción, se debe, a que la magnitud de los fenómenos positivos sobrepasa la magnitud de los fenómenos negativos. Cuentan como fenómenos positivos: la alta dureza y rigidez de las partículas de zeolita; la fuerte unión de enlace estable, regular a nivel micrométrico de la superficie porosa de la propia partícula con la interface de la matriz del polímero, que promueve una unión mecánica estable y fuerte, manteniendo esta característica aún después de la sobrecarga aplicada; la distribución uniforme de las partículas de zeolita por la matriz sin acumulaciones y/o apilamientos que provocarían concentración de tensiones apreciables, las cuales, pudieran rebajar el valor de la tracción y/o tensión de la carga en la matriz polimérica del material compuesto ante la deformación plástica de la matriz polimérica. Como fenómeno negativo, se tiene, que las partículas a escala micrométrica, se comportan como una imperfección o defecto, pero no influye negativamente en su resistencia del 3 al 10% de zeolita.

En la Figura 5, se exponen los resultados de los ensayos de dureza. El material de matriz pura presenta valores inferiores

to materials reinforced with different percentages of zeolite. In the case of reinforced materials, with increasing zeolite of 3, 5, 7 and 10%, hardness values also increase, where the highest value equals 87.00 HD corresponds to the composite with 10% zeolite as reinforcement.

The reason for that increase is the prevalence of positive phenomena, such as zeolite having high hardness values, and the existence of a strong mechanical particle-matrix bond that provides hardness and rigidity. There are no appreciable negative phenomena.

de dureza en comparación con los materiales reforzados con diferentes porcentos de zeolita. En el caso de los materiales reforzados, con el aumento del por ciento de partículas de zeolita de 3, 5, 7 y 10% los valores de dureza aumentan también. El mayor valor igual a 87,00 HD corresponde al material compuesto con refuerzo de 10% de zeolita.

La causa de este aumento, se debe a la prevalencia de los fenómenos positivos, como que la zeolita presenta altos valores de dureza, y la existencia de una fuerte unión mecánica partícula-matriz que aporta dureza y rigidez. No existen fenómenos negativos apreciables.

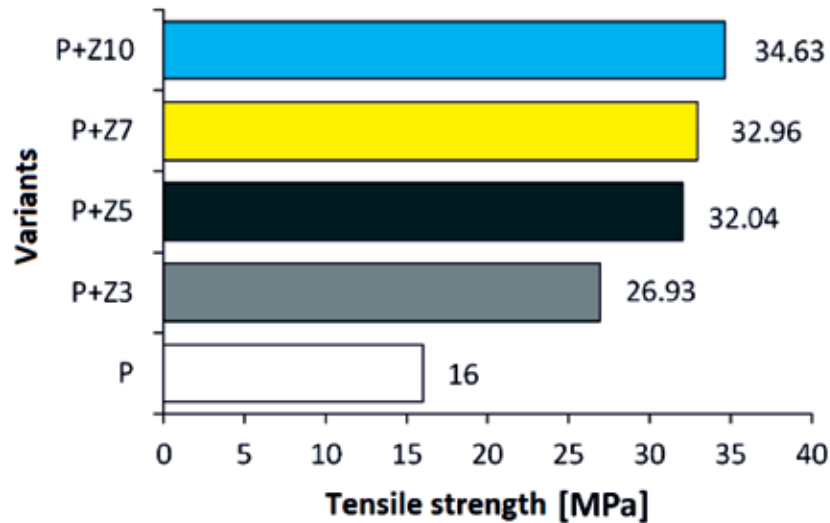


FIGURE 4. Comparison Graphic of Tensile Strength Values of Pure Polymer versus Composites with Different Percentages of Zeolite  
 FIGURA 4. Gráfico de comparación de los valores de resistencia a la tracción del polímero puro con los compuestos de diferentes porcentajes de zeolita.

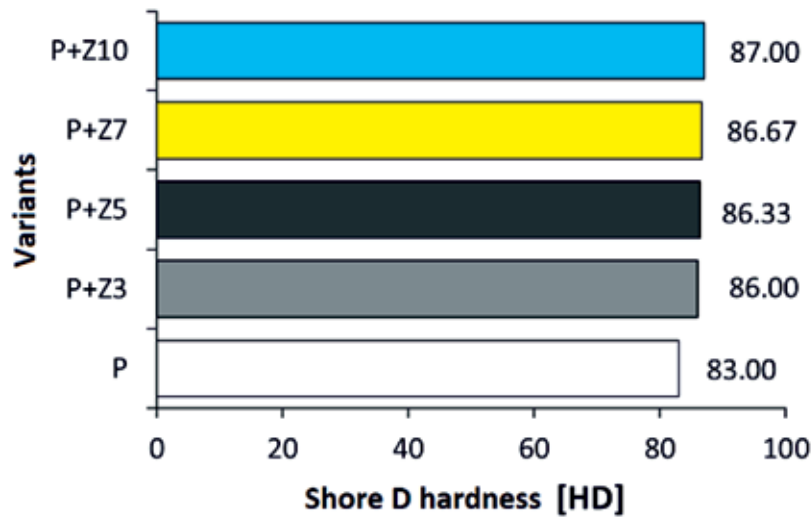


FIGURE 5. Comparison Graphic of Pure Polymer Hardness Values versus Composites with Different Percentages of Zeolite  
 FIGURA 5. Gráfico de comparación de los valores de dureza del polímero puro con los compuestos de diferentes porcentajes de zeolita.

The last test type performed showed that the variants of zeolite particulate composite (3, 5, 7 and 10%) have lower impact strength than the pure material. The results of these tests can be seen in Figure 6. Impact strength decreases with zeolite percent increase up to 7%. That decrease stops with a slight increase in 10% zeolite.

El último ensayo realizado, mostró que las variantes de material compuesto con refuerzo de zeolita (3, 5, 7 y 10%) presentan una resistencia al impacto inferior a la variante del material puro. En la Figura 6 se pueden apreciar los resultados de esos ensayos. La resistencia al impacto disminuye con el aumento del por ciento de zeolita hasta el 7%, deteniéndose dicha disminución con un ligero aumento en el 10% de zeolita.

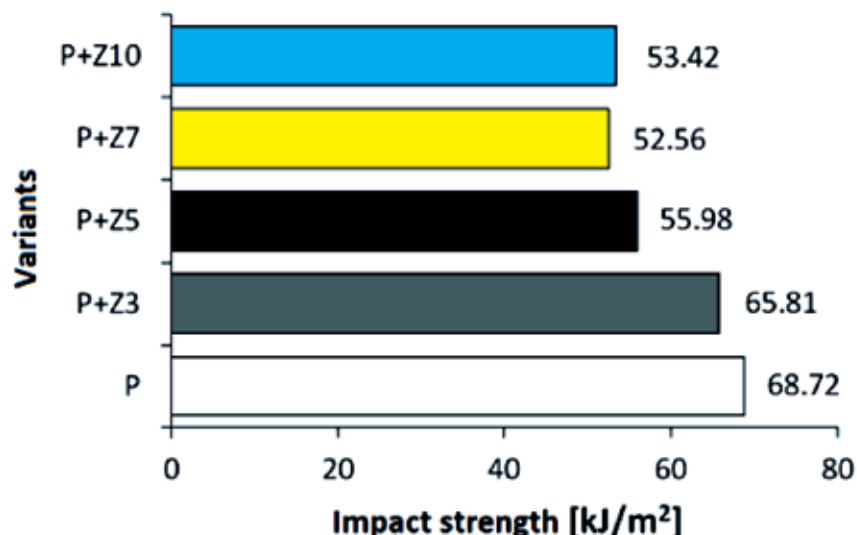


Figure 6. Comparison Graphic of the Impact Strength Values of the Pure Polymer versus Composites with Different Percentages of Zeolite  
 Figura 6. Gráfico De Comparación De Los Valores De Resistencia Al Impacto Del Polímero Puro Con Los Compuestos De Diferentes Porcientos De Zeolita.

That weakening is mainly because zeolite particles behave as defects in the polymer material and that the high hardness and rigidity of this component makes it a fragile material, in which the propagation of the crack is performed faster, overcoming resistance by the mechanical particle-polymer bond. Cracking occurs outside the particle, which being a center of nucleation and concentration of residual stresses of impact under loads, accumulates them and promote cracks that grow and promote the rupture of the material under loads of impact. The decrease in impact values occurs abruptly in 3% and 5% of zeolite stopping at 7%, to increase slightly at 10%. This latter behavior would be justified because the mechanical particle-polymer bond has increased in such a way that it presents a somewhat significant resistance to the crack propagation. To define the real cause, a study of composite materials with addition of zeolite particles greater than 10% should be proposed.

## CONCLUSIONS

- Composite materials with reinforcements of Cuban zeolite particles with a thermostable polymer matrix were manufactured and tested. The proportions used as reinforcement were 3, 5, 7 and 10%.
- In the tensile test, the strength values increase with increasing percentage of zeolite particles, because zeolite has low plastic and elastic properties, with a porous structure, which promotes stable and strong mechanical bonding.
- Impact strength values decrease with increasing percentage of zeolite particles because zeolite increases the hardness and rigidity of the composite material but at the same time that makes it more brittle by creating additional stress centers in its structure. Therefore, with increasing percentage of zeolite in the materials increased hardness.
- The results show the strength of the particle-matrix interfaces, which convert the particles of clinoptilolite

La causa de este debilitamiento se debe, principalmente, a que las partículas de zeolita se comportan como defectos en el material polimérico, y que la elevada dureza y rigidez de este compuesto convierte a este en un material frágil, en el cual, la propagación de la grieta se realiza más rápido, venciendo la resistencia por parte de la unión mecánica partícula-polímero. La fisura, se produce fuera de la partícula, la cual, siendo un centro de nucleación y concentración de tensiones residuales de impacto bajo cargas, que se acumulan a su alrededor y promueven estas fisuras que crecen y promueven la ruptura del material bajo cargas de impacto. La disminución de los valores de impacto ocurre bruscamente en los porcentos de zeolita 3 y 5%, deteniéndose en el 7%, para aumentar ligeramente en el 10%. Este último comportamiento, estaría justificado, porque la unión mecánica partícula-polímero haya aumentado, de tal forma, que presenta una resistencia algo significativa frente a la propagación de la grieta. Para definir la verdadera causa, se debe proponer el estudio de materiales compuestos con adición de partículas de zeolita superiores al 10%.

## CONCLUSIONES

- Fueron fabricados y ensayados, materiales compuestos con refuerzos de partículas de zeolita cubana, con matriz de polímero termoestable. La proporción utilizada como refuerzo fue de 3, 5, 7 y 10%.
- En el ensayo de tracción, los valores de resistencia aumentan con el aumento del porcentaje de las partículas de zeolita, debido, a que la zeolita tiene bajas propiedades plásticas y elásticas, con una estructura porosa, que promueve una unión mecánica estable y fuerte.
- Los valores de resistencia al impacto disminuyen con el aumento del porcentaje de zeolita, porque la zeolita aumenta la dureza y rigidez del material compuesto, aunque, lo vuelve más frágil al crear centros de tensión adicionales en su estructura. Por eso, con el aumento del porcentaje de zeolita en los materiales aumentó la dureza. Los resultados mostrados

zeolite from San Andrés, Holguín, as a candidate to be used as reinforcement elements in a thermostable polymer matrix.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the support provided by CAPES of Brazil, project “Development of nanocomposite materials of thermoplastic matrix reinforced with Cuban organophilic bentonite and Brazilian clays”. To the Department of Metallurgical Engineering and Materials of the Polytechnic School of the University of Sao Paulo, Brazil, for performing impact strength and SEM test. By conducting impact and MEB tests. To the Department of Construction of Machinery of the Polytechnic Institute “José Antonio Echeverría”.

evidencian la fortaleza de las interfaces partícula-matriz, que convierte a las partículas de zeolita clinoptilolita de San Andrés en Holguín, como candidata para su empleo como elementos de refuerzo en una matriz polimérica termoestable.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) de Brasil, proyecto “Desenvolvimento de materiais nanocompositos de matriz termoplástica reforçados com bentonita organofílica cubana e argilas do brasil”. Al Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, por garantir a realização de los ensayos de impacto y MEB. Al Departamento de Construcción de Maquinaria de la Facultad de Ingeniería Mecánica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

## REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPBELL, F.C.: *Manufacturing technology for aerospace structural materials*, ser. Aerospace engineering materials science, Ed. Elsevier, 1.ª ed., Amsterdam, 600 p., 2006, ISBN: 978-1-85617-495-4.
- ČEJKA, J.: *Introduction to zeolite science and practice*, ser. Studies in surface science and catalysis, no. ser. 168, Ed. Elsevier, Amsterdam, 1058 p., 2007, ISBN: 978-0-444-53063-9.
- CGEE (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS): *Materiais Avançados 2010-2022, [en línea]*, Ed. CGEE, Brasília, Brasil, 360 p., 2010, ISBN: 978-85-60755-25-7, Disponible en: [https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/Livro\\_Materiais\\_Avançados\\_2010\\_6367.pdf](https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/Livro_Materiais_Avançados_2010_6367.pdf), [Consulta: 23 de junio de 2017].
- HE, S.; PETKOVICH, N.D.; LIU, K.; QIAN, Y.; MACOSKO, C.W.; STEIN, A.: “Unsaturated polyester resin toughening with very low loadings of GO derivatives”, *Polymer*, 110: 149-157, 2017, ISSN: 0032-3861, DOI: 10.1016/j.polymer.2016.12.057.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *Plásticos y ebonita*, no. ISO 868:2000, 2000.
- KAJTÁR, D.A.; KENYÓ, C.; RENNER, K.; MÓCZÓ, J.; FEKETE, E.; KRÖHNKE, C.; PUKÁNSZKY, B.: “Interfacial interactions and reinforcement in thermoplastics/zeolite composites”, *Composites Part B: Engineering*, 114: 386-394, 2017, ISSN: 1359-8368, DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.12.015.
- MONDELO-GARCÍA, F.-J.; ALÍ-SHAH, L.; ALMEIDA, F.; VALÍN-RIVERA, J.-L.; DA SILVA-VALENZUELA, M.-G.; VALENZUELA-DÍAZ, F.-R.; GUERRA-SILVA, Y.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, F.: “Caracterización de bentonitas y zeolitas sin tratamiento como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica”, *Ingeniería Mecánica*, 17(1): 57-67, 2014a, ISSN: 1815-5944.
- MONDELO-GARCÍA, F.-J.; JESÚS-ALMEIDA, F.; MANUEL-SOUSA, F.; VALÍN-RIVERA, J.-L.; DA-SILVA-VALENZUELA, M.-G.; VALENZUELA-DÍAZ, F.-R.: “Caracterización física con difractogramas e hinchamiento de bentonitas organofílicas para adicionar a materiales compuestos poliméricos”, *Ingeniería Mecánica*, 17(2): 118-128, 2014b, ISSN: 1815-5944.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Zeolitas naturales. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico total*, no. NC 626:2008, La Habana, Cuba, 2008a.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Zeolitas naturales. Determinación del contenido de zeolitas, arcillas y calcita mediante análisis térmico*, no. NC 629:2008, La Habana, Cuba, 2008b.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Zeolitas naturales. Determinación del contenido de zeolitas mediante difracción de Rayos X*, no. NC 630:2008, La Habana, Cuba, 2008c.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Zeolitas naturales. Preparación de muestras para ensayos de laboratorio*, no. NC 627:2008, La Habana, Cuba, 2008d.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Zeolitas naturales. Requisitos*, no. NC 625:2008, La Habana, Cuba, 2008e.
- SÁNCHEZ, M.J.; MAURICIO, J.E.; PAREDES, A.R.; GAMERO, P.; CORTÉS, D.: “Antimicrobial properties of ZSM-5 type zeolite functionalized with silver”, *Materials Letters*, 191: 65-68, 2017, ISSN: 0167-577X, DOI: 10.1016/j.matlet.2017.01.039.
- SHARMA, B.; CHHIBBER, R.; MEHTA, R.: “Curing studies and mechanical properties of glass fiber reinforced composites based on silanized clay minerals”, *Applied Clay Science*, 138: 89-99, 2017, ISSN: 0169-1317, DOI: 10.1016/j.clay.2016.12.038.
- SUKENIK, A.; VINER-MOZZINI, Y.; TAVASSI, M.; NIR, S.: “Removal of cyanobacteria and cyanotoxins from lake water by composites of bentonite with micelles of the cation octadecyltrimethyl ammonium (ODTMA)”, *Water Research*, 120: 165-173, 2017, ISSN: 0043-1354, DOI: 10.1016/j.watres.2017.04.075.
- VÉLEZ, M.R.M.; PERUGACHI, R.: *Estudio y Simulación del Comportamiento del Cemento Pórtland Tipo I con la Adición de 10% de Zeolita Ecuatoriana Mediante el Curado al Aire, [en línea]*, Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL), Tesis de Grado, Ecuador, 2012, Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19734>, [Consulta: 23 de junio de 2017].

WANG, B.; QIAN, T.; ZHANG, Q.; ZHAN, X.; CHEN, F.: "Heat resistance and surface properties of polyester resin modified with fluorosilicone", *Surface and Coatings Technology*, 304: 31-39, 2016, ISSN: 0257-8972, DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.06.075.

Received: 22/03/2017.

Approved: 15/06/2017.

*Yosvani Guerra-Silva*, Ing., Especialista, Empresa Cubana de Aeropuertos y Servicios Aeronáuticos S.A. Dirección Técnica. Avenida Independencia y Final, Rancho Boyeros, La Habana, Cuba. Correo electrónico: [yguerra@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:yguerra@mecanica.cujae.edu.cu)

*José Luis Valin-Rivera*, Correo electrónico: [jose.valin@pucv.cl](mailto:jose.valin@pucv.cl)

*María Elena Fernández-Abreu*, Correo electrónico: [mary@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:mary@mecanica.cujae.edu.cu)

*Francisco Jesús Mondelo-García*, Correo electrónico: [mondelo@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:mondelo@mecanica.cujae.edu.cu)

*Daniel Díaz-Batista*, Correo electrónico: [daniel@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:daniel@mecanica.cujae.edu.cu)

*Hélio-Wiebeck*, Correo electrónico: [hwiebeck@usp.br](mailto:hwiebeck@usp.br)

*Henry Figueredo-Losada*, Correo electrónico: [henryf@usp.br](mailto:henryf@usp.br)

*Alexander Alfonso-Alvarez*, Correo electrónico: [aalfonsoal@usp.br](mailto:aalfonsoal@usp.br)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.

**BÁSCULAS CON JAULA  
PARA LA GANADERÍA**



**BALANZA  
PARA GANADO MAYOR**

