

# Universidad Católica de Santa María

## Escuela de Post Grado

### Doctorado en Ingeniería Mecánica



#### ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES TERMO-MECÁNICAS DE MEZCLAS POLIMÉRICAS CON ADICIÓN DE RESIDUO SOLIDO OBTENIDO EN EL PROCESO DE PIRÓLISIS

Tesis presentada por el Maestro:

**Almirón Baca, Jonathan Joseph**

para optar al Grado Académico de

**Doctor en Ingeniería Mecánica**

**Asesor:**

**Dr. Duquesne Sophie Simonne  
Paulette**

**Arequipa – Perú**

**2022**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS**

Arequipa, 06 de Abril del 2022

**Dictamen: 002068-C-EPG-2022**

Visto el borrador del expediente 002068, presentado por:

**2015010811 - ALMIRON BACA JONATHAN JOSEPH**

Titulado:

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES TERMO-MECÁNICAS DE MEZCLAS POLIMÉRICAS CON  
ADICIÓN DE RESIDUO SOLIDO OBTENIDO EN EL PROCESO DE PIRÓLISIS**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**0838 - CARDENAS GARCIA JAIME DANTE  
DICTAMINADOR**



**1051 - VILLANUEVA SALAS JOSE ANTONIO  
DICTAMINADOR**



**6956 - SILVA VELA ALEJANDRO OSCAR  
DICTAMINADOR**



**6973 - ALLAL AHMED MICHEL  
DICTAMINADOR**



**Z005 - PEDRAZA DIAZ FERNANDO  
DICTAMINADOR**



## **CON GRATITUD Y RECONOCIMIENTO**

Este trabajo no hubiera sido posible realizarlo si no hubiera contado con el apoyo de la Embajada de Francia en Perú, la Alianza Francesa de Arequipa y del Gobierno Regional de Arequipa.

Así mismo no hubiera podido seguir adelante sin el apoyo de la Profesora Sophie DUQUESNE por su bienvenida, apoyo en la integración de su grupo de trabajo y por sus consejos para sacar adelante este proyecto. A la profesora Francine ROUDET por su apoyo permanente, por haberme guiado en la redacción de los artículos y al Profesor Alejandro SILVA quien fue la persona que me animó a iniciar esta tarea. Mi gratitud a todos los compañeros del grupo de la UMET que me brindaron su apoyo en cada etapa del proyecto.

Extiendo mi agradecimiento a mi madre y mi familia que, a pesar de la distancia, me apoyan y animan.

Finalmente, todo este reto no hubiera sido posible sin el apoyo inquebrantable de mi esposa, Pamela, quien me alienta a seguir siempre adelante.

## RESUMEN

A nivel internacional, la disposición final de vehículos al final de su vida útil está generando un problema medioambiental. Actualmente, existen en Europa empresas dedicadas al desmontaje y recuperación de aquellos componentes que pueden ser reutilizados, entre los que se encuentran los residuos plásticos. Por lo tanto, en la primera parte del estudio se propuso tratar estos plásticos mediante un proceso pirolítico con el fin de transformarlos en residuos sólidos, para ser utilizados como parte de los aditivos en un sistema retardante de llama en una matriz de polipropileno. Los residuos de vehículos se segregaron mediante su densidad relativa y se caracterizaron. Posteriormente se incorporaron a un proceso de pirólisis térmica obteniendo residuos sólidos pirolíticos (RSP) como resultado. Usando el RSP resultante, se prepararon mezclas poliméricas (polipropileno, polifosfato de amonio y pentaeritritol). Sus propiedades térmicas, mecánicas y de inflamabilidad se evaluaron mediante el análisis termogravimétrico, módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, porcentaje de deformación y el índice limitante de oxígeno.

En la segunda parte del estudio se determinó y comparó si los residuos sólidos provenientes de la pirólisis de los desechos plásticos de vehículos y tratados térmicamente (RS-T), la ceniza volcánica (CV) y la ceniza de cáscara de arroz (CR) tienen alguna acción sinérgica cuando se agregan a aditivos retardadores de llama para el polipropileno (como el polifosfato de amonio y pentaeritritol). Estos materiales se caracterizaron mediante el análisis de adsorción de nitrógeno (Brunauer-Emmett-Teller), por el método de fluorescencia de rayos X y por difracción de rayos X. Se determinó la presencia abundante de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , los cuales son considerados minerales retardantes de llama. Se prepararon compuestos de matriz polimérica de polipropileno, polifosfato de amonio, pentaeritritol y de los materiales de CV, CR y RS-T en varias concentraciones (del 1% al 9% en peso). Se evaluó la estabilidad térmica y la resistencia al fuego de las mezclas poliméricas sintetizadas a través de los ensayos de índice de oxígeno limitante, análisis termogravimétrico y calorimetría de cono. Se determinó que estos materiales tienen una acción sinérgica con los aditivos retardantes de llama al haberse demostrado un incremento en su resistencia al fuego.

En la parte final de la presente investigación se ha estudiado la influencia de zeolitas naturales obtenidas a partir de cenizas del volcán Ubinas, como agentes sinérgicos en un sistema retardante de llama. Se sintetizaron cuatro zeolitas diferentes a partir de cenizas volcánicas, tanto calcinadas como sin calcinar, luego se colocaron en una solución alcalina a tres temperaturas de síntesis. Las zeolitas se caracterizaron mediante difracción de rayos X, por análisis de adsorción de nitrógeno (Brunauer-Emmett-Teller) y microscopía electrónica de barrido. Se prepararon mezclas poliméricas de polipropileno con polifosfato de amonio, pentaeritritol y las zeolitas al 1, 5 y 9%. Se evaluó su estabilidad térmica y resistencia al fuego mediante el análisis termogravimétrico, índice de oxígeno limitante, prueba de inflamabilidad vertical ULV-94 y calorimetría de cono; su estructura morfológica fue evaluada mediante microscopía electrónica de barrido. Se determinó que la temperatura de síntesis y el uso de cenizas volcánicas calcinadas y sin calcinar influyen en las características de las zeolitas y en su acción sinérgica con los retardantes de llama y por ende, en sus propiedades ignífugas.

**Palabras claves:** *Pirólisis, residuos, ceniza de cascara de arroz, ceniza volcánica, zeolita, retardante de llama, polipropileno.*

## ABSTRACT

The final disposal of vehicles at their end-of-life is generating a world environmental problem. Nowadays, in Europe there are companies dedicated to the disassembly and recovery of the components that can be reused, being plastic wastes among these components. Thus, in the first part of this research, it was proposed to treat these plastic wastes through a pyrolytic process in order to transform them into solid wastes, to be used as part of the additives in a flame retardant system for a polypropylene matrix. Vehicle residues were segregated according to their densities and characterized. They were subsequently incorporated into a thermal pyrolysis process giving, as a result, a solid pyrolytic residue (RSP). Using the RSP, the polymer blends were prepared composed of polypropylene, ammonium polyphosphate and pentaerythritol. Their thermal, mechanical and flammability properties were evaluated by thermogravimetric analysis, modulus of elasticity, tensile strength, percentage of deformation and the limiting oxygen index.

In the second part of this research, it was determined and compared whether the heat treated solid waste from the pyrolysis of plastic waste of vehicles (RS-T), volcanic ash (CV) and rice husk ash (CR) have any synergistic action when added to polypropylene flame retardant additives (such as ammonium polyphosphate and pentaerythritol). These materials were characterized by nitrogen adsorption analysis (Brunauer-Emmett-Teller method), X-ray fluorescence and X-ray diffraction. The abundant presence of  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  was determined, which are considered flame-retardant minerals. Polymer matrix composites were synthesized, which were composed of polypropylene, ammonium polyphosphate, pentaerythritol and CV, CR and RS-T materials (at 1% to 9% by wt.). The thermal stability and fire resistance of the synthesized polymer mixtures were evaluated through the limiting oxygen index, thermogravimetric analysis and cone calorimetry. It was determined that these materials have a synergistic action with flame-retardant additives as an increase in their fire resistance has been demonstrated.

In the final part of this research, the influence of natural zeolites obtained from ashes of the Ubinas volcano, as synergistic agents in a flame-retardant system, has been studied. Four different zeolites were synthesized from volcanic ash, including calcined and not calcined ashes, being placed in an alkaline solution at three synthesis temperatures. Zeolites were characterized by X-ray diffraction, nitrogen adsorption analysis (Brunauer-

Emmett-Teller method) and scanning electron microscopy. Polypropylene polymer blends were prepared with ammonium polyphosphate, pentaerythritol and the zeolites at 1, 5 and 9% (by wt.). Their thermal stability and fire resistance were evaluated by thermogravimetric analysis, limiting oxygen index, ULV-94 vertical flammability test and cone calorimetry. Their morphological structure was tested by scanning electron microscopy. It was determined that the synthesis temperature and the use of calcined and non-calcined volcanic ashes has an influence on the characteristics of zeolites and on their synergistic action with flame retardants and therefore, on their flame-retardant properties.

**Keywords:** *Pyrolysis, waste, rice husk ash, volcanic ash, zeolite, flame- retardant, polypropylene.*

