

Universidad Católica de Santa María

Escuela de Post Grado

Doctorado en Ingeniería Mecánica



ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE GEOPOLÍMEROS A PARTIR DE CENIZA VOLCÁNICA PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Tesis presentada por el Maestro:

Tupayachy Quispe, Danny Pamela

para optar el Grado Académico de

Doctora en Ingeniería Mecánica

Asesor:

Dr. Pacheco Oviedo Abraham Arturo

Arequipa – Perú

2021

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ESCUELA DE POSTGRADO

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 12 de Enero del 2021

Dictamen: 002219-C-EPG-2021

Visto el borrador de tesis del expediente 002219, presentado por:

2015010772 - TUPAYACHY QUISPE DANNY PAMELA

Titulado:

**ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE GEOPOLÍMEROS A PARTIR DE CENIZA VOLCÁNICA PARA LA
OBTENCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1051 - VILLANUEVA SALAS JOSE ANTONIO
DICTAMINADOR**



**1151 - LLAZA LOAYZA MARCO ANTONIO
DICTAMINADOR**



**1341 - TICSE VILLANUEVA EDWING JESUS
DICTAMINADOR**



**1634 - ALCAZAR ROJAS HERMAN ENRIQUE
DICTAMINADOR**



**3191 - PONCE SOTO LUIS ALBERTO
DICTAMINADOR**



Dedicatoria

*A mis padres, quienes, con su ejemplo de perseverancia y esfuerzo,
me han animado siempre a seguir adelante y
han contribuido de manera decisiva
en mi formación como ser humano.*

*A mi esposo y a mi hijo, quienes están siempre apoyándome y
me han ayudado a que este sueño se haga realidad.*

Gracias a todos.



Agradecimientos



*Gracias a Dios porque cada día bendice mi vida
con la hermosa oportunidad de estar y
disfrutar a lado de las personas que amo y
también me permite tener este nuevo triunfo.*

*Gracias a mi universidad,
que me abrió las puertas a un mundo
lleno de oportunidades incomparables y
gracias a mis profesores,
por los copiosos conocimientos que me han otorgado.*

RESUMEN

El cemento es usado como un aglutinante para la elaboración de materiales de construcción; sin embargo, la industria cementera es una de las que más generan contaminantes. En la producción del cemento se genera emisiones excesivas de CO_2 (tn de CO_2 / tn de cemento puzolánico producido) producto de la calcinación de piedra caliza y la combustión de combustible fósil. Considerando que la demanda de cemento tipo Portland se está incrementando, es que se busca tecnologías o materiales que puedan permitir la atenuación de la contaminación ocasionada en la industria del cemento. De esta manera, surge la idea del uso de la ceniza volcánica como material alternativo a usarse en la construcción, teniendo en cuenta que la ceniza volcánica es un material el cual se encuentra en abundancia en las zonas volcánicas de nuestro país y que no está siendo aprovechado.

En la presente tesis se buscó conseguir un material que posea propiedades físicas y mecánicas que sean adecuadas para usarse como materia prima que sea menos contaminante y rentable para la industria de construcción, siendo la ceniza volcánica (proveniente del volcán Ubinas) el material evaluado. Se inició con la recolección y homogenización del tamaño de la ceniza proveniente de la ladera, base y cráter del volcán Ubinas. Con la finalidad de determinar si existe diferencia entre las zonas de recolección, se caracterizaron las muestras antes y después de ser molidas. Posteriormente, se elaboraron los morteros geopoliméricos usando como precursores a la ceniza volcánica y agregados a la arena local y arena standard en dos soluciones alcalinas activadoras (NaOH 12M y $\text{Na(OH)} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ 12M) con un tiempo de curado de hasta 180 días. Además, se elaboró morteros de cemento donde se usó como precursor al cemento portland con arena local y agua. Finalmente, se realizó la caracterización física, química, mineralógica y estructural de los morteros geopoliméricos y de cemento, así como, se evaluó su comportamiento mecánico. Encontrándose que el tipo de solución alcalina activante y el uso de arena local o arena standard influyen en sus propiedades mecánicas, siendo la de NaOH y arena local con los cuales se obtuvo los mayores valores de resistencias de 27.49, 27.57 y 24.59 MPa a los 7, 14 y 28 días de ensayo, respectivamente. Dichos valores son más altos que los obtenidos al usar la solución activadora con adición de silicato de sodio; sin embargo, al usar arena standard fue con la solución con silicato de sodio con la cual

se obtuvo valores de 38.84, 31.84 y 26.30 MPa a los 7, 14 y 28 días. Con el mortero de cemento se obtuvo resultados de 27.45, 28.03 y 29.36 MPa a los 7, 14 y 28 días de ensayo, respectivamente. Por lo tanto, las propiedades del mortero geopolimérico obtenido demostraron propiedades mecánicas elevadas pudiendo ser una buena alternativa ya que se ha obtenido valores mayores a los establecidos en la norma NTP 334.069:2017 (Cemento de albañilería o morteros).

Palabras claves: *Ceniza volcánica, mortero geopolimérico, solución activadora, cemento, construcción.*



ABSTRACT

Cement is used as a binder to produce construction materials; however, the cement industry is one of the most polluting industries. In cement production, excessive CO₂ emissions (tn of CO₂ / tn of pozzolanic cement produced) as a result of the calcination of limestone and the combustion of fossil fuel. Considering that the demand for Portland-type cement is increasing, we are looking for technologies or materials that can mitigate the pollution caused in the cement industry. This is how the idea of using volcanic ash become an alternative material to be used in construction. In addition, the volcanic ash is a material that is found in abundance in the volcanic areas of our country and that is not being used.

That is why this thesis sought to get a material that has physical and mechanical properties that are suitable for its use as a less polluting and profitable raw material for the construction industry, being the volcanic ash (from the Ubinas volcano) the evaluated material. It began with the collection and homogenization of the size of the ash from the slope, base and crater of the Ubinas volcano. In order to determine if there is a difference between the collection areas, the samples were characterized before and after being ground. Subsequently, geopolymetric mortars were made using volcanic ash as precursors and added to local sand and standard sand in two alkaline activating solutions (NaOH 12M and Na (OH) + Na₂SiO₃ 12M) with a curing time of up to 180 days. In addition, cement mortars were made using portland cement with local sand and water. Finally, the physical, chemical, mineralogical and structural characterization of the geopolymetric and cement mortars was carried out, as well as their mechanical behavior was evaluated. Finding that the kind of activating alkaline solution and the use of local sand or standard sand influence on its mechanical properties, being with NaOH and local sand the mortars which the highest resistance values of 27.49, 27.57 and 24.59 MPa were obtained at 7, 14 and 28 days of curing time, respectively. These values are higher than the ones that were obtained using the activator solution with the addition of sodium silicate. However, when using standard sand with the solution with sodium silicate, values of 38.84, 31.84 and 26.30 MPa were obtained at 7, 14 and 28 days. With the cement mortar the values of 27.45, 28.03 and 29.36 MPa were obtained at 7, 14 and 28 days of testing, respectively. Therefore, the properties of the geopolymetric mortar obtained showed high mechanical

properties and could be a good alternative because the values obtained are bigger than the masonry cement or mortars according the NTP 334.069:2017 (Cements. Masonry cement).

Keywords: *Volcanic ash, geopolymetric mortar, activator solution, cement, construction.*

