

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO**  
**BENEDICTO XVI**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE EFECTO DEL  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  SOBRE LAS  
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE PASTAS Y  
MORTEROS OBTENIDAS POR GEOPOLIMERIZACIÓN DE POLVO  
DE LADRILLO**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

Br. Gisella Yossely Carrasco Domínguez

**ASESOR**

Mg. Aldo Castillo Chung

<https://orcid.org/0000-0002-2270-1671>

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Vivienda, saneamiento y transporte

**TRUJILLO – PERÚ**

**2023**

## DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD

Señor(a) Decano(a) de la Facultad de Ingeniería:

Yo, Mg Aldo Roger Castillo Chung con DNI N° 18132971, como asesora del trabajo de investigación **EVALUACIÓN DE EFECTO DEL  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE PASTAS Y MORTEROS OBTENIDAS POR GEOPOLIMERIZACIÓN DE POLVO DE LADRILLO,,** desarrollada por el bachiller Gisella Yossely Carrasco Domínguez DNI N° 43559687 respectivamente, egresada del Programa Profesional de Ingeniería Civil, considero que dicho trabajo de titulación reúne los requisitos tanto técnicos como científicos y corresponden con las normas establecidas en el reglamento de titulación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y en normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por la comisión de la clasificación designado por el Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.



Mg. Aldo Castillo Chung  
DNI: 18132971

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Mons. Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, O.F.M.**

Arzobispo Metropolitano de Trujillo  
Fundador y Gran Canciller de la Universidad  
Católica TrujilloBenedicto XVI

**Dr. Luis Miranda Díaz**

Rector de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

**Dra. Mariana Silva Balarezo**

Vicerrectora Académica

**Dra. Ena Cecilia Obando Peralta**

Vicerrectora de Investigación

**Mg. Breitner Díaz Rodríguez**

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

**Mons. Ricardo Exequiel Angulo Bazauri**

Gerente de Desarrollo Institucional

**Dra. Teresa Reátegui Marín**

Secretario General

## DEDICATORIA

Aprovecho la oportunidad que me ofrece Dios y la vida para dedicar este trabajo de investigación a toda mi hermosa *familia*, en especial a mis amados padres, el señor *Lemuel Urbano Carrasco Picón* y la señora *Ulda Bertha Domínguez Campos*, por su amor y constante apoyo incondicional en todo momento, porque todo lo que soy es gracias a ellos. A *mis hermanos*, que han compartido conmigo el camino de la vida, a mi pequeña sobrina *Sofía Valentina*, que ilumina nuestro hogar con alegría. Y también *a mí persona*, por mi compromiso, esfuerzo y perseverancia en lograr ser mejor cada día. Finalmente, a los *investigadores y lectores*, a quienes espero aportar con este trabajo un mayor conocimiento al servicio de la sociedad.

***GISELLA YOSSELY CARRASCO DOMÍNGUEZ***

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a ***Dios*** por ser mi motor y motivo en esta vida y por darme la fuerza y la sabiduría para completar esta investigación. A ***mi familia*** por su amor, apoyo y paciencia durante todo el proceso. También agradezco a la ***Universidad Católica de Trujillo y a todos sus docentes*** y todos sus docentes por brindarme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa institución, y a la ***Universidad Nacional de Trujillo*** por permitirme utilizar sus laboratorios para llevar a cabo esta investigación. Mi consideración, respeto y agradecimiento al ingeniero ***Aldo Roger Castillo Chung*** por su orientación y apoyo durante todo el proceso de investigación. Agradezco a todas las personas que me brindaron su apoyo durante mi preparación y desarrollo de este trabajo de investigación. Finalmente, quiero expresar mi gratitud a mi hermosa madre la señora ***Ulda Bertha Domínguez Campos*** por su apoyo incondicional, confianza y amor en todo momento, sin ti madre esto no hubiera sido posible.

Para todos ellos, muchas gracias por todo.

***GISSELLA YOSSELY CARRASCO DOMÍNGUEZ***

## ÍNDICE

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	ii
CONFORMIDAD DEL ASESOR .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	vi
ÍNDICE .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....	x
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. METODOLOGÍA.....	33
2.1. Enfoque y tipo.....	33
2.2. Diseño de Investigación.....	34
2.3. Objeto de Estudio.....	34
2.4. Instrumentos, técnicas, equipos de laboratorio de recojo de datos.....	38
2.4.1. Instrumentos de recojo de datos.....	38
2.4.2. Técnicas de recojo de datos.....	38
2.4.3. Equipos de laboratorio de recojo de datos.....	38
2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	39
2.5.1. Técnicas de procesamiento.....	39
2.5.2. Análisis de información.....	41
2.6. Aspectos éticos en investigación.....	42
2.6.1. Respeto por los Derechos de los Participantes.....	42
2.6.2. Equidad y Justicia.....	42

2.6.3. Responsabilidad en la Utilización de Recursos.....	42
2.6.4. Honestidad y Transparencia.....	42
2.6.5. Reconocimiento de Fuentes y Colaboraciones.....	42
2.6.6. Uso Responsable de la Tecnología.....	42
III. RESULTADOS.....	44
3.1. Descripción de resultados.....	44
3.1.1. Determinación de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la resistencia a la compresión de morteros y pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	44
3.1.2. Determinación de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la porosidad de morteros y pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	47
3.1.3. Determinación de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la densidad de morteros y pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	49
3.1.4. Determinación de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre el porcentaje de fases amorfas de morteros y pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	52
3.1.5. Determinación de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la formación de geles N-A-S-H de morteros y pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	55
3.2. Prueba de Hipótesis.....	57
3.2.1. Determinación de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la resistencia a la compresión de morteros y pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	57

3.2.2. Determinación de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	63
3.2.3. Determinación de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la densidad de morteros y pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	66
3.2.4. Determinación de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre el porcentaje de fases amorfas de morteros y pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	71
3.2.5. Determinación de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la formación de geles N-A-S-H de morteros y pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	72
IV. DISCUSIÓN.....	73
V. CONCLUSIONES.....	78
VI. RECOMENDACIONES.....	79
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	80
ANEXOS.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura esquemática microscópica de poros en morteros a base de cemento.....	25
<b>Figura 2.</b> Diagrama esquemático del proceso de geopolimerización.....	27
<b>Figura 3.</b> Solución de silicato de sodio.....	29
<b>Figura 4.</b> Preparación del Polvo de ladrillo: (a) ladrillos rojos de desecho recolectados y (b) polvo de ladrillo después de la molienda utilizada.....	30
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo del procedimiento experimental.....	41
<b>Figura 6.</b> Gráfico de concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	44
<b>Figura 7.</b> Gráfico de concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	45
<b>Figura 8.</b> Gráfico de concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	47
<b>Figura 9.</b> Gráfico de concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	49
<b>Figura 10.</b> Gráfico de concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo.....	50
<b>Figura 11.</b> Micrografías SEM de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo en diferentes niveles de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ : (a) ME1-5M; (b) ME2-7.5M; (c) ME3-10.0 M y (d) ME4 -12.5M.....	52
<b>Figura 12.</b> Espectro FTIR de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo a distintas concentraciones de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .....	55
<b>Figura 13.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo a 7 días.....	57

<b>Figura 14.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo a 14 días.....	58
<b>Figura 15.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo a 28 días.....	59
<b>Figura 16.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo a 7 días.....	60
<b>Figura 17.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo a 14 días.....	61
<b>Figura 18.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo a 28 días.....	62
<b>Figura 19.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo a 7 días.....	63
<b>Figura 20.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo a 14 días.....	64
<b>Figura 21.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo a 28 días.....	65
<b>Figura 22.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo a 7 días.....	66
<b>Figura 23.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo a 14 días.....	67
<b>Figura 24.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo a 28 días.....	68

<b>Figura 25.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo a 7 días.....	69
<b>Figura 26.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo a 14 días.....	70
<b>Figura 27.</b> Análisis de Varianza de la influencia de la concentración de $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ sobre la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización de polvo de ladrillo a 28 días.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Niveles de estudio y Variables.....	35
<b>Tabla 2.</b> Operacionalización de variables.....	36

## RESUMEN

La presente investigación delimitó como objetivo determinar el efecto del Silicato de Sodio sobre las propiedades físico-químicas y mecánicas de pastas y morteros obtenidas por geopolimerización de polvo de ladrillo. Evaluando las propiedades físico-químicas como: densidad, porosidad, porcentaje de fases amorfas y formación de geles tipo N-A-S-H; como también las propiedades mecánicas como esfuerzo a la compresión. Esta investigación empleó una metodología de carácter aplicada, explicativa y cuantitativa, junto con un diseño experimental. Donde se conformaron entre 75 pastas cilíndricas, de dimensiones 25x50mm, y 75 morteros cúbicos; 50x50x50mm. Estas muestras contaron con un diseño de mezcla con parámetros de a/c 0.5 y v/v de conglomerante/agregado fino de 2/1. Donde se empleó como material conglomerante al polvo de ladrillo reciclado pasante por malla No 400 y como agregado fino; arena gruesa. Se sometió a activación alcalina al grupo control una solución de NaOH 8M, y al grupo experimental, una solución de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, en niveles de 5M, 7.5M, 10.0 M y 12.5M. Por último, las pastas y morteros obtenidos fueron caracterizados por métodos de Microscopía SEM y Espectroscopía FTIR. Del mismo modo fueron ensayados a esfuerzos de compresión a 7, 14 y 28 días según la norma ASTM C109. Como resultados se obtuvieron, que mientras la concentración del activador alcalino, Silicato de Sodio, incrementa en el rango de 5M a 10.0 M, las propiedades físico-químicas como las mecánicas, son afectadas. Aumentando la densidad, formación de geles tipo N-A-S-H y esfuerzo a la compresión. Como también, disminuyendo la porosidad y porcentaje de fases amorfas.

**Palabras Clave:** *morteros, polvo de ladrillo, geopolimerización, silicato de sodio*

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effect of Sodium Silicate on the physical-chemical and mechanical properties of pastes and mortars obtained by geopolymerization of brick dust. Evaluating the physical-chemical properties such as: density, porosity, percentage of amorphous phases and formation of N-A-S-H type gels; as well as mechanical properties such as compressive stress. This research used an applicative, explanatory and quantitative methodology, along with an experimental design. Where 75 cylindrical pastes, measuring 25x50mm, and 75 cubic mortars were formed; 50x50x50mm. These samples had a mix design with parameters of w/c 0.5 and v/v of binder/fine aggregate of 2/1. Where recycled brick dust passed through No. 400 mesh was used as a binding material and as fine aggregate; gross sand. An 8M NaOH solution was subjected to alkaline activation to the control group, and a Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> solution to the experimental group, at levels of 5M, 7.5M, 10.0 M and 12.5M. Finally, the pastes and mortars obtained were characterized by SEM Microscopy and FTIR Spectroscopy methods. In the same way, they were tested at compression stresses at 7, 14 and 28 days according to the ASTM C109 standard. The results were obtained that while the concentration of the alkaline activator, Sodium Silicate, increases in the range from 5M to 10.0 M the physical-chemical properties, as well as the mechanical ones, are affected. Increasing density, formation of N-A-S-H type gels and compressive stress. As well as, decreasing the porosity and percentage of amorphous phases.

**Keywords:** *mortars, brick dust, geopolymerization, sodium silicate*