

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



**INFLUENCIA DE KOH SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO-
QUIMICAS Y MECANICAS DE PASTAS Y MORTEROS OBTENIDAS
POR GEOPOLIMERIZACIÓN A PARTIR DE ESCOMBROS**
**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Br. Felipe Hernán Alayo Paredes

ASESOR

Mg. Aldo Castillo Chung

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Vivienda, saneamiento y transporte

TRUJILLO – PERÚ

2023

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Excmo. Mons. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, O.F.M.

Arzobispo Metropolitano de Trujillo

Fundador y Gran Canciller de la

Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

Dr. Luis Orlando Miranda Díaz

Rector de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

Dra. Mariana Geraldine Silva Balarezo

Vicerrectora académica

Mg, Ing., Breitner Guillermo Díaz Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingeniería

Dra. Ena Obando Peralta

Vicerrectora Académico de Investigación

Dr. Winston Rolando Reaño Portal

Director de la Escuela de Posgrado

Dra. Teresa Sofía Reategui Marin

Secretaria General

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD

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

Yo, Mg Aldo Roger Castillo Chung con DNI N° 18132971, como asesor del trabajo de investigación **INFLUENCIA DE KOH SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS Y MECANICAS DE PASTAS Y MORTEROS OBTENIDAS POR GEOPOLIMERIZACIÓN A PARTIR DE ESCOMBROS,,** desarrollada por el bachiller Felipe Hernán Alayo Paredes DNI N° 18196801 respectivamente, egresado 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

DEDICATORIA

Al todo poderoso, por iluminar el sendero que guio mi camino, ya que sin él lo demás deja de ser importante. Dios vio los obstáculos que se presentó y con su sabiduría logro que se despejara para lograr mis objetivos.

A mi Madre, que con sus consejos supo despertar en mí las fuerzas de seguir, logrando mis metas planteadas en el corto y largo plazo. Finalmente, a mis queridos hijos que con su energía lograron contagiar en mi la buena vibra.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a mi Alma Mater que es la Universidad por las enseñanzas inculcadas por sus docentes, en segundo lugar, al Decano de la Facultad Mg, Ing., Breiner Guillermo Díaz Rodríguez por los consejos acertados y el apoyo brindado, en tercer lugar, a nuestro Asesor Mg. Ing. Aldo Castillo Chung por su guía y paciencia el arduo camino hasta la culminación de este proyecto e informe de investigación. Finalmente, a mi querida Madre Blanca Paredes por su apoyo incondicional en todos los sentidos.

INDICE

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	ii
CONFORMIDAD DEL ASESOR	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. METODOLOGÍA.....	30
2.1. Enfoque y tipo.....	30
2.2. Diseño de Investigación.....	30
2.3. Objeto de Estudio.....	30
2.4. Instrumentos, técnicas, equipos de laboratorio de recojo de datos.....	31
2.4.1. Instrumentos de recojo de datos.....	31
2.4.2. Técnicas de recojo de datos.....	32
2.4.3. Equipos de laboratorio de recojo de datos.....	32
2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de la información.....	32
2.5.1. Técnicas de procesamiento.....	32
2.5.2. Análisis de la Información.....	34
2.6. Aspectos éticos en investigación.....	35
2.6.1. Honestidad e Integridad Científica.....	35
2.6.2. Derechos de los Participantes.....	35

2.6.3. Responsabilidad en la Utilización de Recursos.....	35
2.6.4. Reconocimiento de Fuentes y Plagio.....	35
2.6.5. Transparencia y Divulgación.....	35
III. RESULTADOS.....	36
3.1. Descripción de resultados.....	36
3.1.1. Densidad de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	36
3.1.2. Porosidad de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	39
3.1.3. Resistencia a la compresión de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	41
3.1.4. Fases amorfas de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	45
3.1.5. Geles C-A-S-H de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	48
3.2. Prueba de Hipótesis.....	50
3.2.1. Densidad de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	50
3.2.2. Porosidad morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	56
3.2.3. Resistencia a la compresión de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	59

3.2.4. Fases amorfas de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	65
3.2.5. Geles C-A-S-H de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	65
IV. DISCUSIÓN.....	66
V. CONCLUSIONES.....	71
VI. RECOMENDACIONES.....	73
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	74
ANEXOS.....	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composiciones químicas relativas de productos cementosos.....	24
Figura 2. Representación esquemática de la formación de materiales geopoliméricos (a) Precursor de geopolímero. (b) Esqueleto de geopolímero.....	26
Figura 3. Estructura atómica del KOH (hidróxido de potasio).....	28
Figura 4. Diagrama de flujo del procedimiento experimental).....	34
Figura 5. Densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	36
Figura 6. Densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	38
Figura 7. Porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	39
Figura 8. Resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	41
Figura 9. Resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	43
Figura 10. Micrografías por microscopía electrónica de barrido de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH: (a)5M, (b)7.5M, (c)10M y (d) 12.5M.....	45
Figura 11. Espectros FTIR de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH.....	48
Figura 12. Prueba de hipótesis de la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días.....	50

Figura 13. Prueba de hipótesis de la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días.....	51
Figura 14. Prueba de hipótesis de la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días.....	52
Figura 15. Prueba de hipótesis de la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días.....	53
Figura 16. Prueba de hipótesis de la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días.....	54
Figura 17. Prueba de hipótesis de la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días.....	55
Figura 18. Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días.....	56
Figura 19. Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días.....	57
Figura 20. Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días.....	58

Figura 21. Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días.	59
Figura 22. Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días.....	60
Figura 23. Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días.....	61
Figura 24. Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días.....	62
Figura 25. Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días.....	63
Figura 26. Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días.....	64

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad determinar la influencia de la concentración de Hidróxido de Potasio (KOH) sobre las propiedades físico-químicas: densidad, porosidad, porcentaje de fases amorfas y formación de geles tipo C-A-S-H; y mecánicas, resistencia a la compresión, de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros, de tal manera que cumplan con las normas de diseño ASTM C109. La metodología empleada de esta tesis fue aplicada, explicativa y cuantitativa, empleando un diseño experimental. Para su desarrollo se empleó un diseño de mezcla para pastas y morteros de 0.50 como relación activador/conglomerante; como también relación conglomerante/agregado de 1:1 (v/v). Así mismo se utilizaron residuos de escombros molidos como material aglomerante pasantes por malla N° 400, y arena gruesa como agregado. Primero se sometió a activación alcalina el grupo control con solución NaOH 7M. Después el grupo experimental, con solución KOH variando su concentración en niveles de 5M, 7.5M, 10M y 12.5M. Luego de su conformación, se caracterizaron físico-químicamente mediante métodos SEM y FTIR. Como también mecánicamente mediante ensayos de compresión a edades de 7, 14 y 28 días con 5 repeticiones. Se obtuvieron como resultados que ante el incremento de la concentración de hidróxido de potasio en el rango de 5M a 10M, incrementa la resistencia a la compresión la densidad y la formación de geles tipo C-A-S-H; como también disminuye la porosidad y porcentaje de fases amorfas de pastas y morteros a partir de escombros.

Palabras Clave: *pastas, morteros, geopolimerización, KOH, escombros*

ABSTRACT

The aim of this reaserch work was to determine the influence of the concentration of Potassium Hydroxide (KOH) on the physical-chemical properties: density, porosity, percentage of amorphous phases and formation of C-A-S-H type gels; and mechanical, compressive strength, of pastes and mortars obtained by geopolymerization from rubble, in such a way that they comply with ASTM C109 design standards. The methodology used in this thesis was applied, explanatory and quantitative, using an experimental design. For its development, a mix design for pastes and mortars was used with a w/c ratio of 0.50 and a binder/aggregate ratio of 1/1 (v/v). Likewise, ground rubble residues were used as binder material through No. 400 mesh, and coarse sand as aggregate. First, the control group was subjected to alkaline activation with 7M NaOH solution. Then the experimental group, with KOH solution varying its concentration at levels of 5M, 7.5M, 10M and 12.5M. After their conformation, they were physicochemically characterized by SEM and FTIR methods. As well as mechanically through compression tests at ages of 7, 14 and 28 days with 5 repetitions. The results were obtained that with the increase in the concentration of potassium hydroxide in the range of 5M to 10M, the compressive strength, density and the formation of C-A-S-H type gels increased; as well as reducing the porosity and percentage of amorphous phases of pastes and mortars made from rubble.

Keywords: *pastes, mortars, geopolymerization, KOH, rubble*

I. INTRODUCCIÓN

En una era marcada por los crecientes desafíos ambientales como la disminución de los recursos naturales y la creciente generación de desechos, la importancia de los métodos de reciclaje, especialmente dentro del sector de la construcción, se establece como un faro de esperanza y un agente indispensable para un futuro sostenible. La amplia utilización de los recursos y los volúmenes masivos de residuos generados por la industria de la construcción remarcan como protagonista fundamental al desempeño hecho por el reciclaje en la conservación de los recursos, la reducción de la huella ecológica y el fomento del desarrollo responsable a escala mundial (Suárez Silgado et al., 2019).

A nivel mundial, numerosas naciones nos van superándose en términos de reutilización efectiva de los desechos sólidos generados por las actividades de construcción. Países como los Países Bajos, Dinamarca y Alemania diseñan activamente campañas para poder impulsar estos procesos de recuperación (Bedoya, 2003).

Por su parte, la Unión Europea y América del Norte, poseen estrictas normas ambientales que exigen que los procesos de construcción civil utilicen materias primas provenientes de demoliciones anteriores, con el objetivo de aprovechar todo el potencial de estos materiales residuales. Este enfoque busca reducir la sobreexplotación de los recursos naturales entrelazada con este proceso. Sin embargo, nuestra propia realidad exhibe avances limitados en cuanto a la reutilización de residuos de construcción y demolición. Los avances se limitan mayoritariamente a las normas y legislaciones reglamentarias en este ámbito. No obstante, en la práctica, estas regulaciones a menudo se vuelven obsoletas, ya que siguen siendo desconocidas o simplemente se pasan por alto, generando escenas de acumulación de desechos a lo largo de nuestras regiones costeras y en botaderos informales. Sorprendentemente, estas medidas apenas son abordados por las mismas autoridades pertinentes.

En nuestro país Perú, por su lado experimenta una fuerte urbanización, el auge de la construcción ha llevado a la generación de 30.000 m³ de desmonte, equivalente a 19.000 toneladas en la capital Lima, donde el 70% de dichos residuos va al mar y a los ríos, y solo el 30% que resta, a los lugares correctos (El Comercio, 2017).

La falta de un sistema de gestión de residuos centralizado da como resultado una tasa de reciclaje inadecuada de solo el 5-10%. Esto plantea desafíos, ya que los desechos de

escombros llegan a los espacios abiertos y contribuyen al 60 % de la contaminación visual urbana. Las ramificaciones socioeconómicas de igual forma son pronunciadas, ya que el 45.9% de la población urbana de Perú reside en asentamientos precarios donde la acumulación de desechos exacerba los riesgos para la salud y altera la dinámica comunitaria (The Economist, 2019).

A pesar de que el sector de la construcción es una industria económica fundamental en nuestra nación, generando oportunidades de empleo directas e indirectas tanto para profesionales calificados como para mano de obra moderadamente capacitada, lamentablemente sigue existiendo el potencial de este sector como motor del desarrollo de infraestructura, especialmente en países en desarrollo como el nuestro, donde aún no se ha aprovechado por completo (Cámara de Comercio de Lima, 2018).

Antes esta realidad, surge una solución propuesta la cual consiste en poder utilizar los residuos de escombros como materia prima en la fabricación de pastas y morteros, pero potenciándolos mediante la geopolimerización con hidróxido de potasio (KOH). Planteando la interrogante ¿Cuál es la influencia de la concentración de Hidróxido de Potasio sobre las propiedades físico-químicas y mecánicas de pastas y morteros obtenidas por geopolimerización a partir de escombros? Planteando la idea de reciclar estos escombros en lugar de desecharlos y, al mismo tiempo, producir un material de construcción más eficiente y sostenible. Ofreciendo múltiples beneficios significativos, tanto desde una perspectiva ambiental como de eficiencia de recursos. Este enfoque innovador representa una solución sostenible que aborda múltiples desafíos simultáneamente, y que no se suele ver su aplicación de forma frecuente en nuestro país.

El propósito de esta investigación, pretendió determinar en qué medida la concentración de Hidróxido de Potasio (KOH) influye en las propiedades físico-químicas y mecánicas en pastas y morteros a partir de escombros. De este modo, los residuos de escombros de construcción al ser activados mediante la geopolimerización, pudieron aportar mejores propiedades de desempeño tanto en el ámbito económico, funcional y ambiental.

En cuanto a la justificación general de esta investigación, se considera de suma importancia debido a la necesidad inevitable de prácticas de construcción sostenibles. Ya que la industria de la construcción contribuye significativamente al agotamiento de los recursos, la generación de desechos y las emisiones de carbono, es crucial explorar métodos

innovadores para reutilizar los materiales de desecho y reducir el impacto ambiental. Este estudio tiene potencial para revolucionar las prácticas de construcción, alineándose con los objetivos de sostenibilidad global y ofreciendo un modelo para la utilización responsable de los recursos.

Desde un punto de vista práctico, se aborda un desafío del mundo real que enfrenta el sector de la construcción: la gestión de los escombros de construcción. Al transformar los materiales de desecho en valiosos componentes de construcción a través de la geopolimerización, este estudio ofrece soluciones prácticas para la gestión de desechos, optimización de los materiales y presentación de alternativas rentables a los materiales de construcción convencionales. Las implicaciones prácticas de esta investigación podrían conducir a la adopción de prácticas sostenibles, beneficiando tanto a la industria de la construcción como al medio ambiente.

La base teórica se basa en los principios de la química de los geopolímeros y la ciencia de los materiales. Al profundizar en las reacciones químicas involucradas en la geopolimerización y comprender cómo los residuos de escombros de construcción interactúan con el KOH para crear pastas y morteros duraderos, este estudio contribuye al avance del conocimiento teórico en el campo. La investigación también se basa en la literatura existente relacionada con la gestión de residuos y las buenas prácticas en construcción sostenible.

La justificación socio-ambiental se basa en el potencial para aliviar la degradación ambiental y mejorar el bienestar social. Al reducir la acumulación de desechos, las emisiones de carbono y la explotación de recursos, la adopción de la geopolimerización con residuos de escombros de construcción ofrece beneficios tangibles tanto para el medio ambiente como para las comunidades locales. La mejora de la calidad del aire y el agua, la reducción de la contaminación visual y la creación de empleo en la gestión de residuos se encuentran entre los resultados socioambientales positivos.

También, el enfoque metodológico implica una exploración sistemática del proceso de geopolimerización con KOH, centrándose en la incorporación de residuos de escombros de construcción. La investigación emplea experimentos de laboratorio, técnicas de caracterización de materiales y evaluaciones de desempeño para evaluar las propiedades físico-químicas y mecánicas de las pastas y morteros resultantes. La utilización de

metodologías estandarizadas garantiza el rigor y la reproducibilidad, lo que contribuye a la credibilidad y la importancia de los hallazgos del estudio.

A partir de esto se planteó como objetivo general el determinar la influencia de la concentración de Hidróxido de Potasio (KOH) sobre las propiedades fisico-químicas y mecánicas de pastas y morteros obtenidas por geopolimerización a partir de escombros.

Considerando de igual forma como objetivos específicos, el poder determinar los cambios de las propiedades físicas como densidad y la caracterización microscópica de morfología de las pastas y morteros mediante ensayos estándar, siguiendo la norma ASTM C188 y método de caracterización SEM. Determinar los cambios en las propiedades químicas en los grupos funcionales resultantes de las pastas y morteros mediante método de caracterización FTIR. Determinar los cambios de las propiedades mecánicas en esfuerzos de compresión de los morteros mediante ensayos estándar, siguiendo la norma ASTM C109.

Como hipótesis se planteó que el incremento de la concentración de hidróxido de potasio en el rango de 5M a 12.5M, modifica la composición química; incrementando la formación de geles tipo C-A-S-H de pastas y morteros a partir de escombros. De la misma forma, modifica la resistencia mecánica, incrementando la resistencia a la compresión de pastas y morteros a partir de escombros. Como también, modifica las propiedades físicas; reduciendo la porosidad y el porcentaje de fases amorfas, como también incrementando la densidad de pastas y morteros a partir de escombros.

En investigaciones previas a nivel internacional, se consideró a Hardjito y Tsen (2008) en su investigación tuvieron como objetivo estudiar las propiedades de ingeniería del mortero geopolimérico fabricado a partir de cenizas volantes de clase F (bajo calcio) con un reactivo alcalino de Hidróxido de potasio. Para ello, se llevaron a cabo pruebas en especímenes de mortero geopolimérico de cubo de 50x50x50 mm. El método utilizado siguió las normativas ASTM C109 para las pruebas de resistencia a compresión y ASTM C191 para la medición del tiempo de fraguado. Los resultados obtenidos revelaron que a medida que aumentaba la concentración de KOH, aumentaba la resistencia a compresión del mortero geopolimérico. Se encontró que la relación de silicato de potasio a solución de KOH por masa para producir un mortero geopolimérico de alta resistencia está entre 0.8-1.5. Además, se encontró que el geopolímero posee una estabilidad térmica superior de al menos

hasta 800°C. Los resultados de resistencia a compresión a 28 días fueron de 25 MPa para una concentración de KOH de 6M, 35 MPa para 10M y 45 MPa para 14M.

También a Pawluczuk y Soomro (2021) en su investigación tuvieron como objetivo de evaluar el papel del hidróxido de potasio (KOH) como activador en la producción de geocompuestos geopoliméricos. Se utilizó el método de activación alcalina, donde se mezcló el KOH con residuos cerámicos y se sometió a un proceso de curado a temperatura ambiente. Se siguieron las normativas EN 1015-10:1999 para determinar la densidad en estado seco y saturado, y se utilizó el método de tratamiento termomecánico patentado PAT.229887 para obtener los finos reciclados. Los resultados mostraron que la adición de KOH como activador mejoró significativamente la resistencia mecánica de geocompuestos geopoliméricos. Además, se observó una disminución del 9% en la densidad de los geocompuestos con la adición de KOH. Estos resultados demuestran el potencial del KOH actuando como activador de álcali de compuestos de material geopolímero de propiedades mecánicas mejoradas.

De igual forma Kumator et al. (2020) tuvo en cuenta la adición de activador de hidróxido de potasio (KOH), como también de cal, con respecto a las propiedades de morteros de cemento mezclado con ceniza de cáscara de yuca (CPA). El método utilizado consistió en obtener las CPA de una planta de procesamiento de yuca, calcinarlas a 600°C, y mezclarlas con cemento en diferentes proporciones. Se realizaron pruebas preliminares en los materiales utilizados, como la determinación de la composición de óxidos, la consistencia y la finura, siguiendo las normativas BS 12 y BS 812. Se fabricaron un total de 144 cubos de mortero y se realizaron pruebas de resistencia a compresión, sorptividad, absorción de agua y porosidad aparente a diferentes edades de curado. Los resultados mostraron que la adición de 4% de cal aumentó el rendimiento de resistencia de los morteros, mientras que el uso de 2% de hidróxido de potasio (KOH) mejoró la durabilidad en términos de absorción de agua y porosidad aparente. Los morteros con una adición del 10% de cáscaras de yuca calcinadas (CPA) mostraron una resistencia a compresión similar a la de los morteros sin adición de CPA. La adición de CPA en combinación con cal y KOH resultó en una mejora significativa en la resistencia y durabilidad de los morteros de cemento en comparación con los morteros sin adiciones.

También Rahmiati et al. (2014) en su investigación se centraron en el efecto de la concentración de KOH en el tiempo de fraguado y resistencia a compresión de geopolímeros a base de cenizas volantes para su aplicación en recubrimientos. El objetivo fue determinar la concentración óptima de KOH que proporcionara un buen tiempo de fraguado y una resistencia a compresión adecuada para su uso en recubrimientos. El método utilizado consistió en mezclar cenizas volantes con solución alcalina de KOH a diferentes concentraciones y luego medir el tiempo de fraguado y la resistencia a compresión de los geopolímeros resultantes. El tiempo de fraguado se midió utilizando el aparato de Vicat según la norma ASTM C191, mientras que la resistencia a compresión se probó utilizando cubos de geopolímero y la norma ASTM C109. Los resultados mostraron que a medida que aumentaba la concentración de KOH, disminuía el tiempo de fraguado. La concentración óptima de KOH para obtener un tiempo de fraguado aceptable fue de 3.5M con 40 min, 4.5M con 30min y 5.5M con 20 min. En cuanto a la resistencia a compresión, se observó que aumentaba con el aumento de la concentración de KOH. La concentración óptima de KOH para obtener una resistencia a compresión adecuada fue de 4.5M con 17 MPa. En conclusión, la concentración de KOH afectó tanto el tiempo de fraguado como la resistencia a compresión de los geopolímeros a base de cenizas volantes. La concentración óptima de KOH para obtener un buen tiempo de fraguado y una resistencia a compresión adecuada fue de 4.5M. Estos resultados pueden ser utilizados para desarrollar geopolímeros con bajos activadores alcalinos para aplicaciones de recubrimientos.

Por su parte Raja et al. (2023) investigaron sobre desempeño del concreto geopolimérico con el uso combinado de hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH). El objetivo de su investigación fue evaluar la resistencia y durabilidad del concreto geopolimérico en comparación con el concreto de cemento Portland ordinario (OPC). El método utilizado consistió en realizar pruebas de resistencia a la compresión y absorción de agua en diferentes combinaciones de activadores alcalinos y tiempos de curado. Se utilizaron materiales como ceniza volante de bajo contenido de calcio como material aglutinante, solución de hidróxido de sodio y silicato de sodio como activadores alcalinos, y agregados. Se siguieron las pautas de diseño de mezcla para el concreto geopolimérico con ceniza volante. Además, se utilizaron normas como IRC-37 (2012) para el diseño de pavimentos flexibles. Los resultados obtenidos mostraron que el concreto geopolimérico tiene una mayor resistencia a la compresión y una menor permeabilidad que el concreto de cemento Portland ordinario. Se encontró que la combinación de NaOH y KOH a concentraciones de 12M tenía

las mayores resistencias a la compresión de 45.95MPa. Además, se observó que el concreto geopolimérico tenía una resistencia temprana mayor que el concreto de cemento Portland ordinario.

Y por último Radhi y Aljudy (2022) en su investigación se enfocaron en el efecto de la relación molar de NaOH a KOH como activadores alcalinos mixtos en la dureza y resistencia a la compresión de una pasta geopolimérica basada en metacaolín. El objetivo fue optimizar esta relación molar para mejorar las propiedades mecánicas del geopolímero. El método utilizado consistió en utilizar metacaolín como fuente de aluminio y silicato, y preparar muestras de geopolímero utilizando diferentes relaciones molares de NaOH a KOH, en un rango de 0.1 a 0.9. Se mantuvo una relación de NaOH y KOH con respecto al contenido de aluminio de 1:1 en la fórmula final del geopolímero. Se realizaron pruebas de microdureza para evaluar las propiedades mecánicas de las muestras. Las normas utilizadas fueron ASTM E92-82 para la prueba de microdureza y ASTM E9-89a para la prueba de resistencia a la compresión. Los resultados mostraron que la mejor relación molar fue $0.3\text{NaOH} + 0.7\text{KOH}$, que proporcionó la mayor resistencia a la compresión (62.85 MPa) y una dureza óptima (78.21 VHN). Se concluyó que la resistencia del geopolímero a base de metacaolín puede modificarse mediante el tipo de elementos alcalinos utilizados. La resistencia del geopolímero puede aumentar al aumentar la cantidad de KOH en relación con NaOH hasta una relación de $0.7\text{KOH} + 0.3\text{NaOH}$. Después de esta relación, la resistencia a la compresión disminuyó. El efecto de la pequeña cantidad de Na desapareció.

Dentro del ámbito nacional, Lecca y Rondo (2022) llevaron a cabo un estudio centrado en la influencia del hidróxido de sodio en los bloques refractarios compuestos de andalucita. Su investigación se enfocó en evaluar la resistencia en compresión y la conductividad térmica de estos bloques. Para caracterizar las muestras, emplearon métodos como AASHTO, al igual que SUCS, que abarcan pruebas de tamaño de partículas por sedimentación y la determinación del límite de consistencia. También realizaron análisis termoquímicos, difracción de rayos X y microscopía electrónica de digitalización. Para evaluar la resistencia en compresión, confeccionaron muestras de geometría cilíndrica de altura 3.5 cm y diámetro 2.5 cm. Por otro lado, la conductividad térmica, requirió la fabricación de discos de altura 1 cm y diámetro 5,4 cm, simulando así las almohadillas refractarias. En el estudio, trabajaron con diferentes niveles de hidróxido de sodio en concentraciones de 1,5%, 3% y 6% en las vainas de los bloques. En cuanto a los resultados,

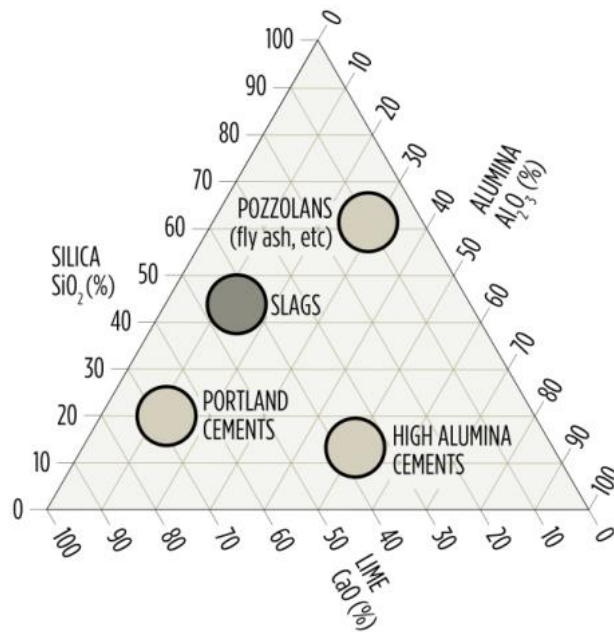
destacaron que la resistencia a la compresión más alta se obtuvo en las muestras con un 3% de NaOH. Además, observaron que la conductividad térmica fue significativamente menor en las muestras con un 6% de NaOH. Estos resultados respaldan la viabilidad de utilizar estos bloques aislantes de geopolímero en aplicaciones específicas.

Por último, la investigación realizada por Cavero en 2020 tuvo como objetivo principal analizar cómo la variación en la proporción de ceniza de cáscara de arroz, como también la alcalinidad de hidróxido de sodio como activador alcalino influyen en la eficacia de la eliminación de iones de cromo en los filtros de metacaolín de material geopolímero, en vista de la notoria toxicidad del cromo, tanto en términos de salud como de impacto ambiental. El proceso de creación del geopolímero involucró la activación de ceniza de cáscara de arroz en proporciones variables, abarcando 0%, 10%, 20% y 30%, junto con el caolín, y activándolos con diferentes concentraciones de hidróxido de sodio, a saber, 10M, 12M y 14M. La eliminación de los iones de cromo se llevó a cabo a través de un método propuesto que implicó la construcción de un sistema de recirculación de agua. Los resultados destacaron que la combinación más exitosa para la eliminación de cromo VI en el geopolímero consistió en un 30% de ceniza, y con concentración 14M de activador, logrando una eliminación del 54.42% de los iones de cromo VI. En resumen, se concluye que a mayor ceniza y concentración de activador alcalino tienen un impacto positivo significativo en la eficacia de poder eliminar iones de cromo.

En cuanto a las bases teóricas tenemos que un mortero a base de cemento es un material de construcción compuesto que sirve como material de construcción. Está meticulosamente formulado mezclando: cemento, agua y agregados finos (típicamente arena). La combinación meticulosa de estos elementos crea una sustancia cohesiva con propiedades versátiles que contribuyen significativamente a diversas aplicaciones de construcción. Al curar, el mortero de cemento se solidifica en una matriz firme y duradera, lo que lo convierte en un ingrediente indispensable para crear enlaces, cohesión e integridad estructural dentro de diversas estructuras arquitectónicas (Warren, 2020).

Figura 1

Composiciones químicas relativas de productos cementosos (Warren, 2020)



Su clasificación está inherentemente ligada a su composición y uso previsto. Esta clasificación se puede entender a través de dos criterios: basado en la composición, se tiene al mortero Rico. Este mortero se inclina hacia una mayor proporción de cemento con respecto a arena, lo que garantiza una mayor resistencia y robustez. Esto lo hace ideal para aplicaciones de carga, como elementos estructurales como columnas o vigas. Como también al mortero magro, que exhibe una mayor proporción de arena en comparación con el cemento, lo que resulta en una menor resistencia a la compresión. A menudo se emplea en aplicaciones no estructurales a nivel de la superficie, como enyesado o enlucido. Basado en la aplicación, se tiene al mortero para albañilería, siendo crucial para unir de forma segura ladrillos o bloques, creando estructuras de mampostería robustas y estables. Mortero para enyesar, diseñado para proporcionar un acabado suave y estéticamente agradable a paredes y techos, mejorando tanto el atractivo visual como la durabilidad. Mortero para pisos, utilizado como capa base para varios materiales para pisos, el mortero para pisos garantiza uniformidad y estabilidad en la estructura del piso. Y mortero de rejuntado, para llenar los espacios entre las unidades de mampostería, no solo mejorando la estética sino también la resistencia al agua (Young, 2021).

La importancia del mortero de cemento en el ámbito de la construcción es multifacética e indispensable. Su importancia emana de varios aspectos clave: El mortero de cemento juega un papel fundamental en el establecimiento de una fuerte adhesión entre las unidades de mampostería, lo que contribuye a la cohesión estructural general. Al aumentar

la resistencia a la tracción ya la compresión de las estructuras, el mortero de cemento mejora su resiliencia y longevidad. El mortero correctamente formulado y aplicado sirve como barrera contra la infiltración de agua, protegiendo las estructuras de posibles daños por agua. Dependiendo de su composición, el mortero de cemento puede contribuir al aislamiento térmico, ayudando a mantener temperaturas interiores óptimas. Las variadas formulaciones de mortero permiten diferentes texturas de acabado, lo que influye en la estética final de una estructura. Su adaptabilidad a una variedad de aplicaciones, composiciones y proporciones subraya su importancia en diversas necesidades de construcción (Young, 2021).

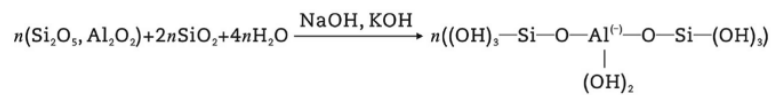
Este mortero encuentra una amplia aplicación en la industria de la construcción y cumple varias funciones en diferentes contextos: En albañilería de Ladrillo y Bloques, sirviendo como material aglutinante para ladrillos o block, formando muros, fachadas y componentes estructurales. En enlucido, aplicado sobre superficies, el mortero de cemento proporciona un aspecto liso y pulido a paredes y techos, mejorando tanto la estética como la protección. En base para pisos, como capa fundamental, garantiza una base nivelada y segura para los materiales para pisos como las baldosas, lo que mejora la integridad general del sistema de pisos. En juntas de colocación, utilizado para llenar los espacios entre las unidades de mampostería, el mortero para juntas mejora tanto la apariencia como la integridad estructural de la mampostería. En restauración y reparación, siendo fundamental para reparar y restaurar superficies de mampostería dañadas o deterioradas, rejuveneciendo su funcionalidad y estética. En cimientos, contribuyendo al establecimiento de cimientos estables y que distribuyen la carga, proporcionando una base sólida para estructuras enteras. Como también en aplicación ignífuga, donde las formulaciones específicas de mortero pueden conferir propiedades resistentes al fuego a las estructuras, mejorando las medidas de seguridad en entornos propensos a incendios (Cuffari, 2019).

La geopolimerización es un proceso químico innovador y respetuoso con el medio ambiente que implica la transformación de materiales de origen ricos en silicio y aluminio, como subproductos industriales como cenizas volantes o escoria, en un material cementoso sólido mediante la activación de soluciones alcalinas.

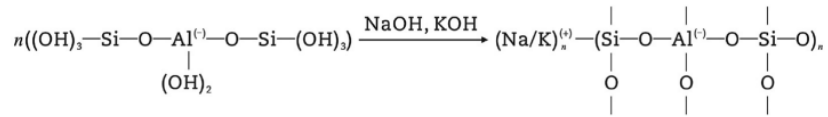
Figura 2

Representación esquemática de la formación de materiales geopoliméricos. (a) Precursor de geopolímero. (b) Esqueleto de geopolímero (Yong et al., 2015).

(a)



(b)



La geopolimerización se puede clasificar en función de los materiales de origen y los agentes activadores utilizados: En Geopolímeros a base de cenizas volantes, estos son derivados de subproductos industriales como las cenizas volantes de carbón, estos geopolímeros contribuyen a la utilización de desechos y la conservación del medio ambiente. En geopolímeros a base de escoria, al utilizar escoria de alto horno, estos geopolímeros ofrecen una alternativa al cemento tradicional, mejorando la gestión de residuos y reduciendo el consumo de recursos. En geopolímeros basados en fuentes naturales, como arcillas o cenizas volcánicas que muestran potencial en prácticas de construcción sostenible (Yang et al., 2022).

La importancia de la geopolimerización se deriva de su potencial para abordar desafíos ambientales y de ingeniería apremiantes. La geopolimerización contribuye a la construcción sostenible mediante el uso de productos de desecho industrial como materia prima, la reducción de los residuos de los vertederos y la conservación de los recursos naturales. A diferencia de la producción de cemento convencional, que emite una cantidad sustancial de CO₂, la geopolimerización emite significativamente menos dióxido de carbono, lo que la convierte en una opción más responsable con el medio ambiente. Los geopolímeros exhiben una excelente resistencia química y térmica, lo que da como resultado estructuras con mayor longevidad y menores necesidades de mantenimiento. La ausencia de producción de clínker en la geopolimerización reduce el consumo de energía, convirtiéndolo en una alternativa energéticamente eficiente al cemento tradicional (Cong y Cheng, 2021).

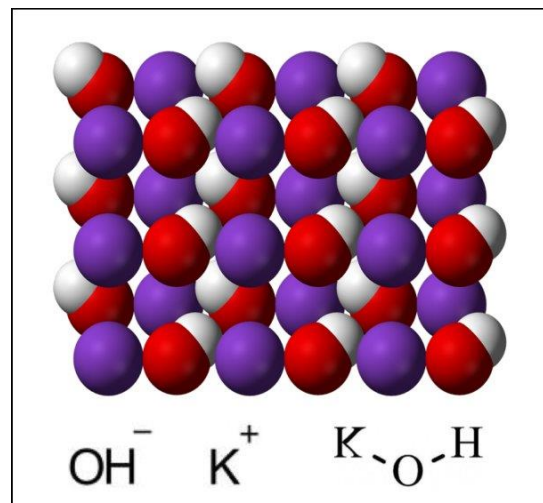
En elementos estructurales, los materiales a base de geopolímeros se pueden utilizar para producir elementos estructurales como vigas y columnas, lo que contribuye a prácticas de construcción sostenibles. En recubrimientos y aglutinantes, sirviendo como recubrimientos y aglutinantes para varios materiales, brindando propiedades protectoras y adhesivas. Para soluciones de gestión de residuos, al utilizar subproductos industriales como

materiales de origen, la geopolimerización ayuda a gestionar los residuos y mitigar el impacto ambiental. En producción de concreto, pudiendo reemplazar el concreto tradicional a base de cemento Portland en varios proyectos de construcción, ofreciendo una mayor durabilidad y sostenibilidad. En rehabilitación de infraestructuras, utilizándolo para reparar y rehabilitar infraestructuras antiguas, mejorando su resistencia y durabilidad. Como también en aplicaciones de alta temperatura, como el revestimiento de hornos y chimeneas industriales (Ahmed et al., 2022).

Por su parte el Hidróxido de Potasio, es un compuesto alcalino fuerte que consta de átomos de potasio, oxígeno e hidrógeno. Se encuentra comúnmente en forma de gránulos o copos blancos e inodoros y es altamente soluble en agua. El hidróxido de potasio es conocido por sus propiedades cáusticas y alcalinas, lo que lo convierte en un compuesto versátil con diversas aplicaciones industriales y químicas (Gilliam, 2007).

Figura 3

Estructura atómica del KOH (hidróxido de potasio) (Alkhareef., 2017).



Una de las características definitorias del hidróxido de potasio es su fuerte alcalinidad y naturaleza cáustica. Como base potente, se disocia fácilmente en soluciones acuosas para liberar iones de hidróxido (OH⁻) que pueden neutralizar fácilmente las sustancias ácidas. Esta propiedad lo convierte en un agente invaluable para el ajuste del pH, las reacciones de neutralización y varios procesos químicos (National Center for Biotechnology Information, 2023).

El hidróxido de potasio es altamente soluble en agua, lo que resulta en la formación de una solución alcalina concentrada. Además, exhibe higroscopicidad. Esta característica lo hace indispensable para aplicaciones donde se requieren concentraciones precisas (National Center for Biotechnology Information, 2023).

La reactividad del hidróxido de potasio es fundamental para su importancia en varias reacciones químicas. Participa en una variedad de reacciones, incluida la saponificación (para la producción de jabón), la esterificación, la transesterificación (en la fabricación de biodiésel) y la neutralización (National Center for Biotechnology Information, 2023).

El hidróxido de potasio tiene una importancia significativa debido a su amplia gama de aplicaciones y propiedades: Como propiedades alcalinas, siendo una base fuerte y de naturaleza alcalina lo hace valioso para varios procesos químicos, incluidas las reacciones de neutralización y el ajuste del pH. Posee diversos usos industriales, en la producción de jabones, detergentes, textiles y diversos productos químicos. Como en la refinación de petróleo, la fabricación de biodiesel y la producción de papel y textiles. Se utiliza en laboratorios químicos para diversos procedimientos analíticos y de síntesis (Gilliam, 2007).

Las aplicaciones del hidróxido de potasio se extienden a múltiples industrias como: En producción de jabones y detergentes, para saponificar grasas y aceites, creando jabones de potasio, que son componentes integrales de jabones líquidos y detergentes. En producción de Biodiesel, como catalizador en el proceso de transesterificación para convertir aceites vegetales en biodiesel. En fabricación de productos químicos en diversas reacciones químicas, incluida la síntesis de productos farmacéuticos, colorantes y otros productos químicos especiales. En procesamiento de alimentos, ayudando en el procesamiento del cacao, el ajuste del pH en varios productos alimenticios y como agente de pelado de frutas y verduras. En limpieza y desengrase, siendo un ingrediente esencial en muchos productos de limpieza industriales y comerciales. Como también en industrias textiles y papeleras, en la producción de rayón, así como en los procesos de blanqueo y pulpa en las industrias textiles y papeleras (National Center for Biotechnology Information, 2023).

II. METODOLOGÍA

2.1. Enfoque y tipo

Esta investigación fue de tipo aplicada, ya que abordó un problema práctico y proporcionó una solución para potenciar la calidad y el rendimiento de los materiales de construcción mediante el uso de materiales de desecho de una manera respetuosa con el medio ambiente; de tipo explicativa, ya que buscó proporcionar una comprensión más profunda de mecanismos o causas detrás de fenómenos observados profundizando en los aspectos físico-químicos y mecánicos del proceso de geopolimerización; y de tipo cuantitativa, ya que implicó la recopilación y el análisis de datos numéricos por procedimientos experimentales sobre propiedades físico-químicas y mecánicas, obteniendo conclusiones concretas sobre los efectos de diferentes concentraciones de KOH en las pastas y morteros resultantes.

2.2. Diseño de Investigación

Esta investigación aplicó un diseño experimental unifactorial. Ya que dicho diseño es una estrategia de investigación diseñada para investigar los efectos de tratamientos o cambios en situaciones donde los sujetos o entidades observadas han sido asignados con base en criterios aleatorios. Por lo cual, se conformarán dos grupos. Un grupo control de muestras activadas con una solución de NaOH 7M y un grupo experimental con incorporaciones de 5M, 7.5M, 10M y 12.5M de concentración de solución de KOH. Ambos serán sometidos a mismos ensayos experimentales tanto físico-químicos como mecánicos en laboratorio.

2.3. Objeto de Estudio

En esta investigación, como población y muestra se tuvo en cuenta lo siguiente:

Universo objetivo: Pastas y morteros geopoliméricos.

Población: Todas las pastas y morteros geopoliméricos a partir de escombros activados por NaOH y KOH.

Muestra de estudio:

Estuvo constituida por 150 especímenes: 75 pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros activados de forma alcalina; de las cuales 15 pastas fueron parte del grupo control con solución NaOH 7M y 60 pastas con solución KOH en distintas concentraciones de dimensiones 25mm de diámetro x 50mm de altura y 75 morteros

obtenidos por geopolimerización a partir de escombros activados de forma alcalina; de las cuales 15 morteros fueron parte del grupo control con solución NaOH 7M y 60 morteros con solución KOH en distintas concentraciones de dimensiones 50x50x50mm.

Matriz de diseño

Nº total de mezclas = [(Nº de Variables Independientes) x (Nº de niveles) x (Nº de réplicas)]
+ mezclas grupo control

$$\text{Nº de mezclas} = (1*4*5) + 5 = 25$$

$$\text{Nº de mezclas} = 25*(\text{Edades de ensayo; 7,14 y 28 días})$$

$$\text{Nº de mezclas} = 25*(3) = 75$$

$$\text{Nº total de pastas} = 75$$

$$\text{Nº total de morteros} = 75$$

$$\text{Nº total de mezclas a desarrollar} = 150$$

Variable independiente: Concentración de hidróxido de potasio, en los niveles 5M, 7.5M, 10M y 12.5M.

Variables dependientes:

- Esfuerzo de compresión (MPa)
- Densidad (g/cm³)
- Porosidad (%)
- Porcentaje de fases amorfas (%)
- Formación de geles tipo C-A-S-H

2.4. Instrumentos, técnicas, equipos de laboratorio de recojo de datos

2.4.1. Instrumentos de recojo de datos

El instrumento que se empleó fue fichas de observación directa, las cuales son herramientas utilizadas en la investigación y recopilación de datos a través de la observación de eventos, situaciones o comportamientos en un entorno específico. Estas fichas se utilizan para registrar sistemáticamente la información relevante que se obtiene durante la observación directa y ayudan a organizar y analizar posteriormente esos datos. Suelen contener campos o categorías predefinidas que el observador completa mientras

observa el fenómeno en cuestión. Estas categorías pueden variar según el propósito de la observación y el contexto en el que se está llevando a cabo. Algunos ejemplos de categorías comunes en fichas de observación directa podrían incluir: fecha y hora, descripción de situación, participantes, comportamientos, comentarios, firma del observador, etc (Cajal, 2020).

También se emplearon fichas de documentación, utilizadas para organizar y recopilar información relevante de fuentes documentales, como libros, artículos, informes, sitios web y otros materiales escritos. Suelen contener diferentes secciones o categorías que facilitan la organización y recuperación de la información como: Título de la fuente, Autor, Fecha de publicación, Editorial o fuente de publicación, etc (Castro, 2015).

2.4.2. Técnicas de recojo de datos

En esta investigación, se empleó la observación en tiempo real de conductas, interacciones y fenómenos. En consecuencia, se utilizó el método de observación directa para registrar estos aspectos. Este enfoque posibilitó la captura de detalles y pautas que podrían quedar fuera del alcance de otras fuentes de información (Cajal, 2020).

2.4.3. Equipos de laboratorio de recojo de datos

Máquina de ensayo universal: empleada para los ensayos mecánicos de esfuerzos a la compresión.

Microscopio electrónico de barrido: empleada para la caracterización de propiedades físicas de las muestras.

Espectrómetro infrarrojo: empleada para la caracterización de geles geopoliméricos de las muestras.

2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de la información

2.5.1. Técnicas de procesamiento

La programación de las etapas del desarrollo experimental de la investigación se llevó a cabo de acuerdo mediante las etapas siguientes.

Etapas 1: En esta etapa se recolectaron todos los insumos para la conformación de pastas y morteros geopoliméricos. Se obtuvieron los polvos de escombros reciclados previamente pulverizados pasante por la malla 400, los agregados finos empleando arena

gruesa, y se prepararon las soluciones de Hidróxido de Potasio en los 4 niveles de estudio. A molaridades de 5M, 7.5M, 10M y 12.5M.

Etapa 2: Seguidamente, se procedió a realizar la conformación de muestras, siguiendo la norma ASTM C109. Cabe resaltar que al conformar pastas y morteros geopoliméricos, se tomaron los siguientes parámetros de diseño de mezcla tomada de antecedentes. La relación a/c de las pastas y mortero fue de 0.5 en todos los casos; la relación conglomerante reciclado/agregado fue de 1/1 (v/v) para todos los casos. Mezclamos los polvos de escombros con la arena gruesa para los morteros de forma manual. Mientras que para las pastas solo se sometieron los polvos de escombros a la activación alcalina.

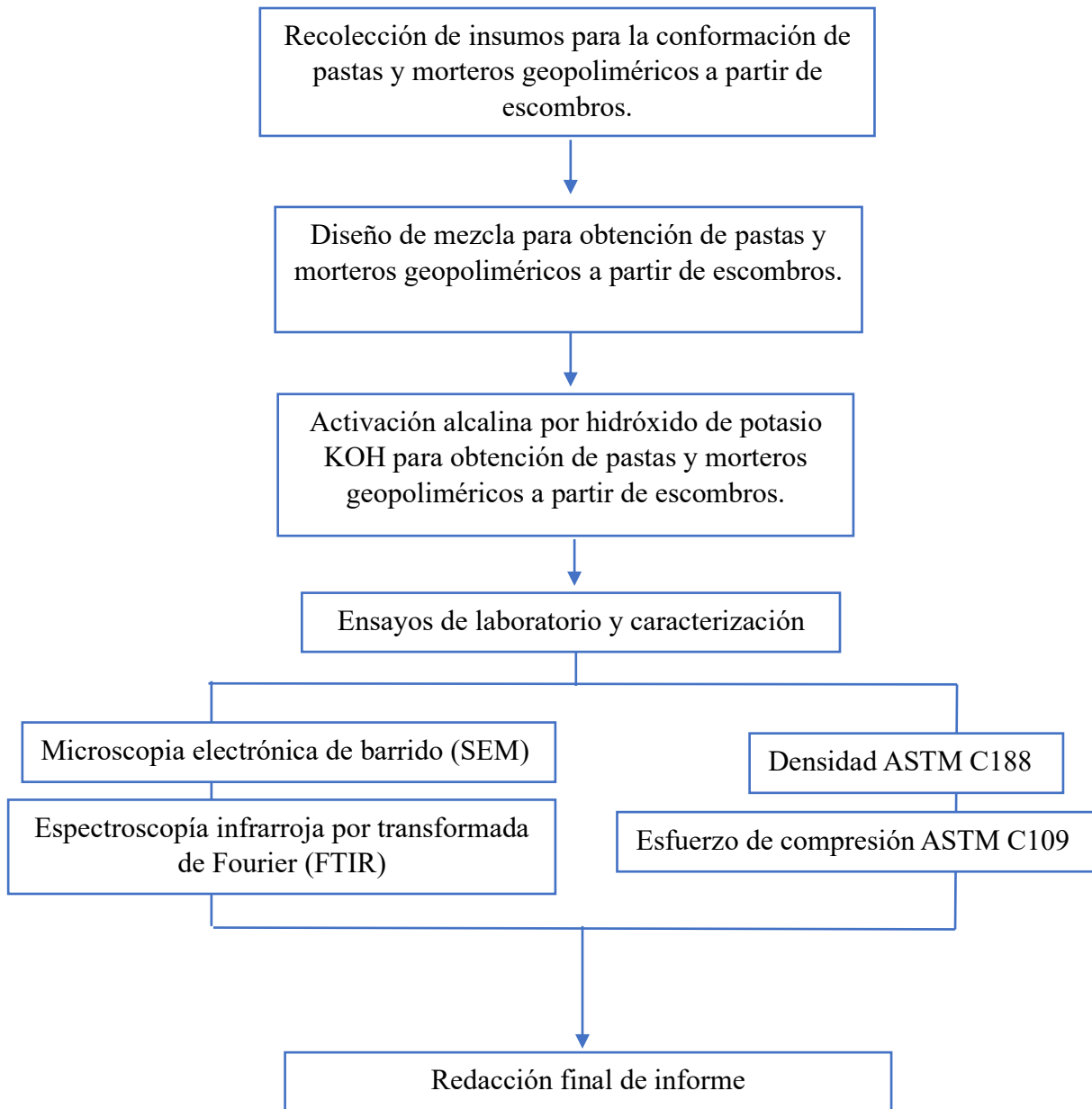
Etapa 3: Luego se añadió el activador alcalino de hidróxido de sodio a las mezclas de grupo control. Como también, el activador de hidróxido de potasio a las mezclas experimentales en distintas concentraciones (5M, 7.5M, 10M y 12.5M). Considerando el tiempo de mezcla de 10 minutos en todos los casos. Las muestras de pastas se vertieron en sus moldes y fueron sometidas a una prensa hidráulica a presión. Por su parte, las muestras de morteros solo se vertieron en sus moldes respectivos y se rotularon. Luego que se dejaron curar a 24 horas a temperatura ambiente y se desmoldaron, las muestras son llevadas a estufa a 60 °C por 72 horas. Para luego curar otra vez a temperatura ambiente hasta llegar a las 3 edades de ensayo (7, 14 y 28 días).

Etapa 4: Llegado a las edades de ensayo. Se priorizó realizar los ensayos mecánicos, luego físicos y por último químicos, para poder emplear las mismas muestras. Primero se realizaron las pruebas mecánicas de forma aleatoria, con un número de 05 repeticiones para el ensayo de compresión ASTM C109. Luego se realizaron los ensayos de porosidad y fases amorfas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Después se realizó el ensayo de densidad bajo la norma ASTM C188. Y por último se analizaron los geles de tipo C-A-S-H mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Todos los ensayos se realizaron a 7, 14 y 28 días.

Etapa 5: Por último, a través de los datos recolectados en el paso anterior se procedió a procesar mediante un análisis estadístico de análisis de varianza, para finalmente elaborar el informe de la investigación desarrollada.

Figura 4

Diagrama de flujo del procedimiento experimental



2.5.2. Análisis de la Información

La evaluación de los datos se realizó al registrar y ordenar de manera eficiente cada resultado obtenido en el proceso experimental. Inicialmente, se empleó un cuaderno de apuntes para consignar los resultados iniciales. Posteriormente, estos resultados fueron procesados mediante hojas de cálculo en el software Excel. La prueba de hipótesis de un

solo factor fue empleada para llevar a cabo el estudio estadístico y el modelo matemático, con el propósito de validar la semejanza entre los grupos bajo análisis.

2.6. Aspectos éticos en investigación

2.6.1. Honestidad e Integridad Científica

La honestidad implica presentar los datos tal como son, sin manipular ni modificar los resultados para que coincidan con las expectativas. La integridad científica implica respetar los principios y estándares éticos al realizar investigaciones, evitando cualquier forma de mala conducta científica, como la falsificación o el plagio (Bhandari, 2021).

2.6.2. Derechos de los Participantes

Esto incluye obtener el consentimiento informado de los participantes, lo que significa asegurarse de que puedan comprender completamente el objetivo de la investigación, sus instrucciones, como también sus riesgos que puedan ocurrir. También implica proteger la privacidad y confidencialidad de los datos de los participantes y tratarlos con respeto y dignidad en todo momento (Bhandari, 2021).

2.6.3. Responsabilidad en la Utilización de Recursos

Utilizar los recursos de manera eficiente y evitar el derroche. Esto incluye no solo los recursos financieros, sino también el tiempo y los esfuerzos de los investigadores y colaboradores (Bhandari, 2021).

2.6.4. Reconocimiento de Fuentes y Plagio

Atribuir adecuadamente las ideas y datos tomados de otras fuentes. El plagio, que es la copia no autorizada de ideas o trabajo de otros, es inaceptable en la investigación científica. Reconocer las contribuciones de otros es esencial para mantener la integridad en la generación de conocimiento (Bhandari, 2021).

2.6.5. Transparencia y Divulgación

Presentar todos los resultados obtenidos durante la investigación, ya sean positivos o negativos, y evitar la selección de resultados para presentar una imagen distorsionada. Esto evita la distorsión de la realidad y contribuye a la confianza en los hallazgos (Bhandari, 2021).

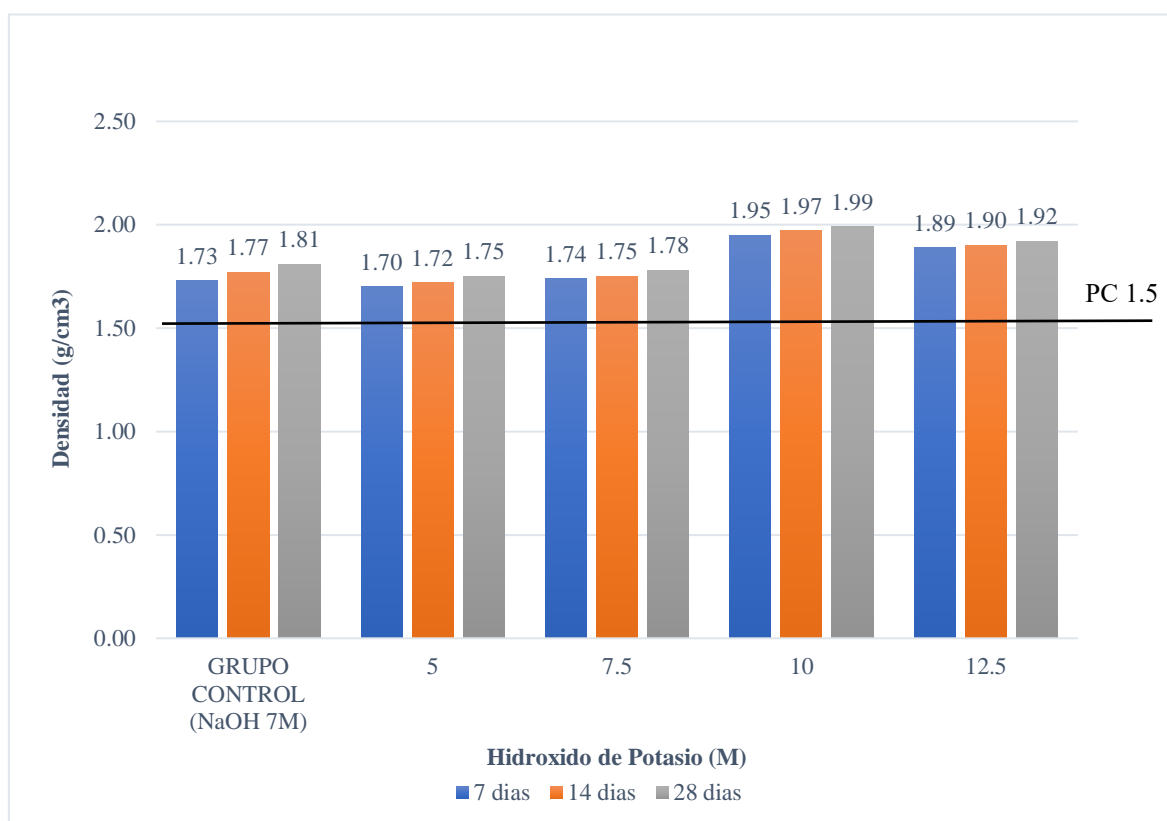
III. RESULTADOS

3.1. Descripción de resultados

3.1.1. Densidad de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Figura 5

Densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

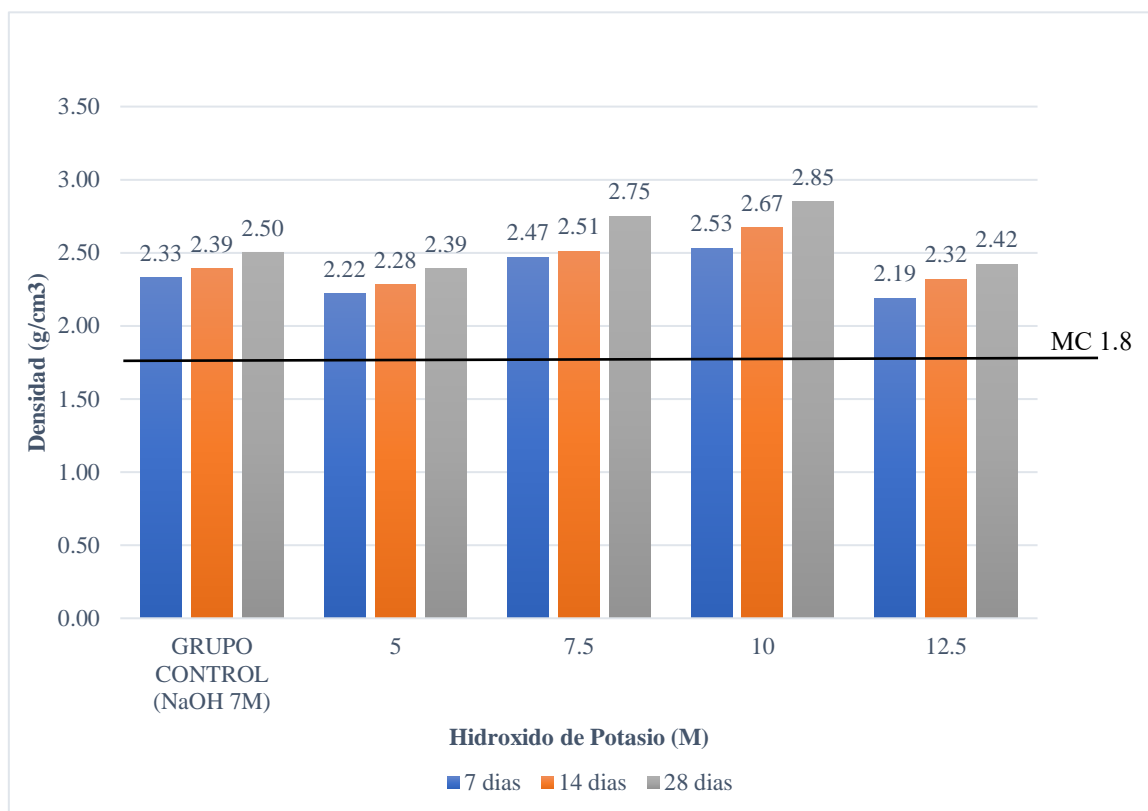


El gráfico siguiente que se presenta, expone un análisis de la propiedad de densidad en unidades de g/cm^3 en pastas geopoliméricas derivadas de escombros en función de la concentración de KOH en unidades de M y el tiempo de ensayo en días. En primer lugar, incluye un grupo control de muestras activadas con NaOH 7M para poder establecer una referencia inicial. Luego, se exploran cuatro niveles diferentes de concentración de hidróxido de potasio, que son 5M, 7.5M, 10M y 12.5M, lo que permite evaluar cómo esta variable afecta las propiedades de las muestras geopoliméricas. Además, se consideran tres edades de ensayo: 7, 14 y 28 días, lo que añade una dimensión temporal al estudio. Cada barra en el gráfico representa un punto de datos único que combina una concentración de hidróxido

de potasio específica, una edad de ensayo y la densidad correspondiente. También se trazó una recta horizontal, con un dato de referencia PC para una muestra de cemento convencional ensayada a 28 días de edad. Al analizar el gráfico, se observa que, al aumentar la concentración de activador, la densidad generalmente tiende a incrementar, en el rango de 5M al nivel 10M. Alcanzando una densidad máxima de 1.99 g/cm^3 en nivel 10M a 28 días. A partir de 10M a 12.5M, por el contrario, se observa que la densidad tiende a reducir. A pesar de ello, se obtienen valores mayores que los niveles de estudio anteriores, como una densidad de 1.92 g/cm^3 en nivel 12.5M a 28 días. Además, se puede notar cómo esta tendencia varía con el tiempo en cierta medida de forma creciente. A mayor tiempo de edad de ensayo, vemos mayores valores de densidad. Por su parte en el grupo control de muestras con NaOH 7M, se observa que sus resultados son comparables con el nivel 7.5M, contando con resultados próximos pero mayores que dicho nivel con KOH. Obteniendo una densidad de 1.81 g/cm^3 en Grupo Control a 28 días. También notamos que su tendencia varía con el tiempo en el grupo experimental. Obteniendo mayores valores de densidad a medida que el tiempo de ensayo se incrementa. Por último, comparamos el valor de PC con el valor mínimo de la propiedad física a la misma edad, siendo 1.5 g/cm^3 y 1.75 g/cm^3 respectivamente. Demostrando que el valor de PC solo nos sirve de dato referencial de comparación a nivel de aplicación, ya que los valores distan mucho con aquellas muestras geopoliméricas. Por lo que no sería válido incluir esta comparación a nivel experimental.

Figura 6

Densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH



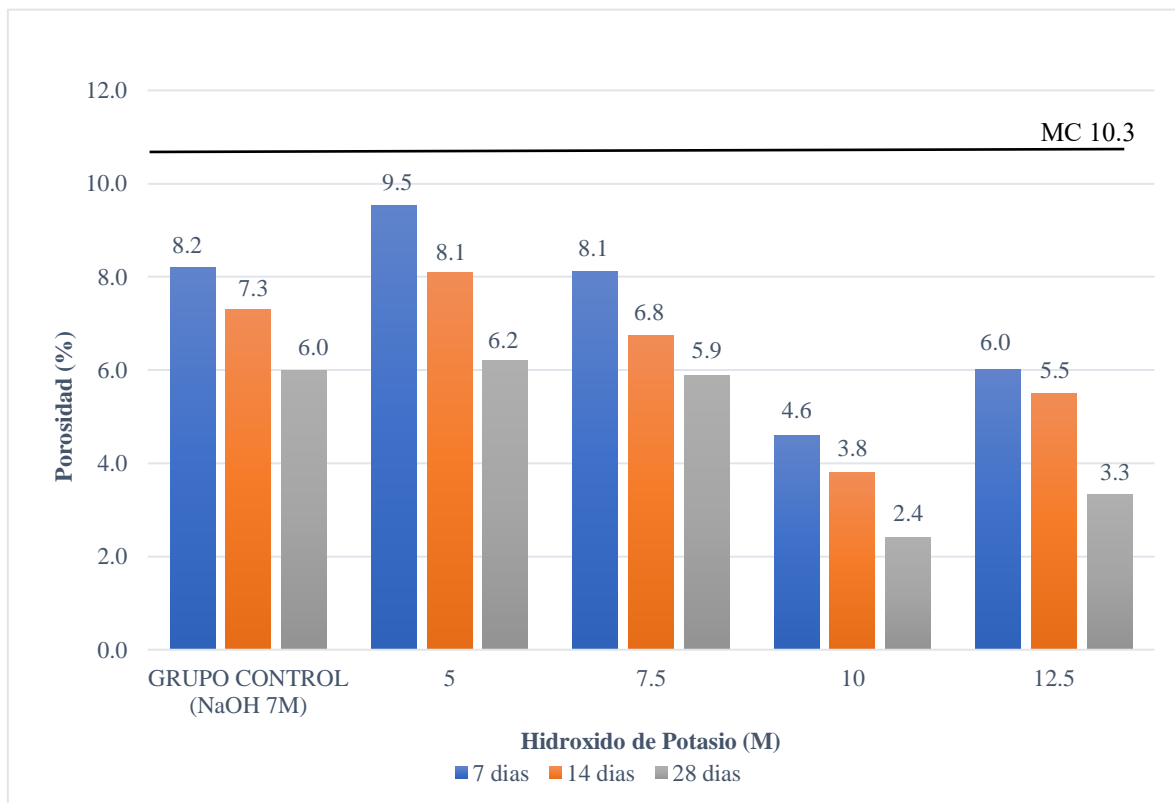
El gráfico siguiente que se presenta, expone un análisis de la propiedad de densidad en unidades de g/cm^3 en morteros geopoliméricos derivados de escombros en función de la concentración de KOH en unidades de M y el tiempo de ensayo en días. Cada barra en el gráfico representa un punto de datos único que combina una concentración de hidróxido de potasio específica, una edad de ensayo y la densidad correspondiente. También se trazó una recta horizontal, con un dato de referencia MC para una muestra de cemento convencional ensayada a 28 días de edad. Al analizar el gráfico, se observa que, al aumentar la concentración de activador, la densidad generalmente tiende a incrementar, en el rango de 5M al nivel 10M. Alcanzando una densidad máxima de 2.85 g/cm^3 en nivel 10M a 28 días. A partir de 10M a 12.5M, por el contrario, se observa que la densidad tiende a reducir. A pesar de ello, se obtienen valores mayores que el primer nivel 5M, con una densidad de 1.42 g/cm^3 en nivel 12.5M a 28 días. Además, se puede notar que esta tendencia varía con el

tiempo en cierta medida de forma creciente. A mayor tiempo de edad de ensayo, vemos mayores valores de densidad. Por su parte en el grupo control de muestras con NaOH 7M, se observa que sus resultados son comparables con el nivel 7.5M, contando con resultados próximos pero menores que dicho nivel con KOH. Obteniendo una densidad de 2.50 g/cm^3 en Grupo Control a 28 días. También notamos que su tendencia varía con el tiempo con el grupo experimental. Obteniendo mayores valores de densidad a medida que el tiempo de ensayo se incrementa. Por último, comparamos el valor de MC con el valor mínimo de la propiedad física a la misma edad, siendo 1.8 g/cm^3 y 2.39 g/cm^3 respectivamente. Demostrando que la el valor de MC solo nos sirve de dato referencial de comparación a nivel de aplicación, ya que los valores distan mucho con aquellas muestras geopoliméricas. Por lo que no sería valido incluir esta comparación a nivel experimental.

3.1.2. Porosidad de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Figura 7

Porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH



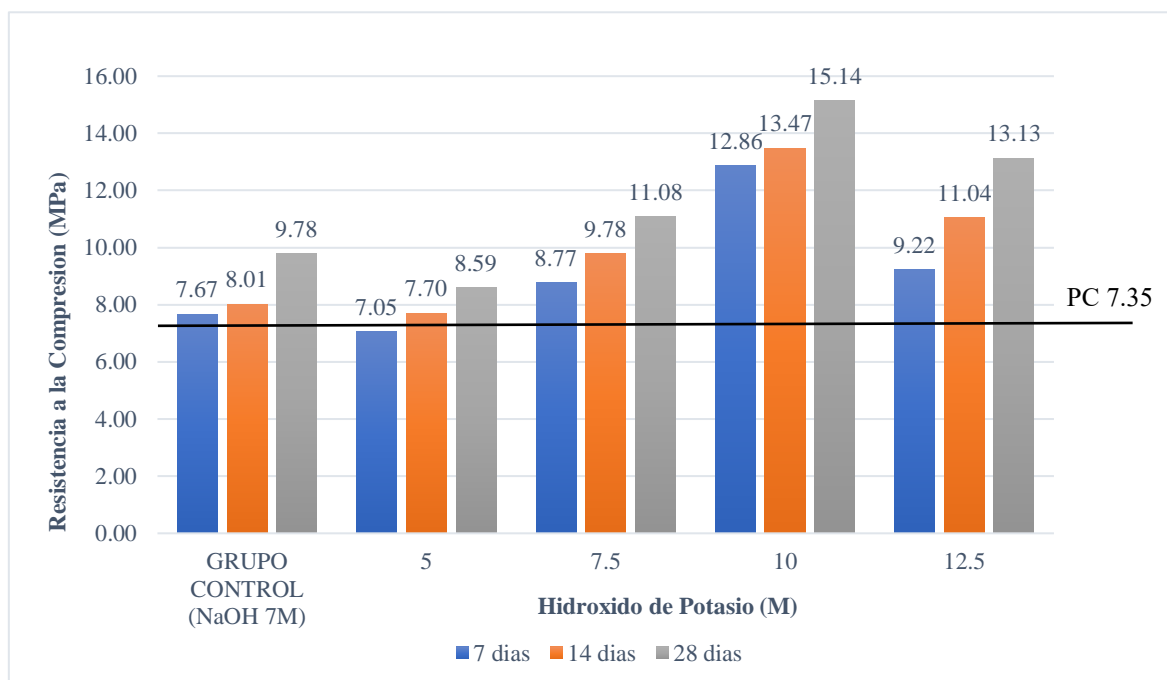
El gráfico siguiente que se presenta, expone un análisis de la propiedad de porosidad en porcentaje % en morteros geopoliméricos derivados de escombros en función de la concentración de KOH en unidades de M y el tiempo de ensayo en días. Primero se incluye un grupo control de muestras activadas con NaOH 7M para poder establecer una referencia inicial. Luego, se exploran cuatro niveles diferentes de concentración de hidróxido de potasio, que son 5M, 7.5M, 10M y 12.5M, lo que permite evaluar cómo esta variable afecta las propiedades de las muestras geopoliméricas. Además, se consideran tres edades de ensayo: 7, 14 y 28 días, lo que añade una dimensión temporal al estudio. Cada barra en el gráfico representa un punto de datos único que combina una concentración de hidróxido de potasio específica, una edad de ensayo y la porosidad correspondiente. También se trazó una recta horizontal, con un dato de referencia MC para una muestra de cemento convencional ensayada a 28 días de edad. Al analizar el gráfico, se observa que, al aumentar la concentración de activador, la porosidad generalmente tiende a reducirse, en el rango de 5M al nivel 10M. Alcanzando una densidad mínima de 2.4 g/cm^3 en nivel 10M a 28 días. A partir de 10M a 12.5M, por el contrario, se observa que la porosidad tiende a aumentar. A pesar de ello, se obtienen valores menores que los primeros niveles, obteniendo una porosidad de 3.3 g/cm^3 en nivel 12.5M a 28 días. Además, se puede notar que esta tendencia varía con el tiempo en cierta medida de forma decreciente. A mayor tiempo de edad de ensayo, vemos menores valores de densidad. Por su parte en el grupo control de muestras con NaOH 7M, se observa que sus resultados son comparables con el nivel 7.5M, contando con resultados próximos, pero por poco mayores que dicho nivel con KOH. Obteniendo una densidad de 6 g/cm^3 en Grupo Control a 28 días. También notamos que su tendencia varía en el grupo experimental. Obteniendo menores valores de porosidad a medida que el tiempo de ensayo se incrementa. Por último, comparamos el valor de PC con el valor máximo de la propiedad física a la misma edad, siendo 10.3% y 6.2% respectivamente. Demostrando que la el valor de MC solo nos sirve de dato referencial de comparación a nivel de aplicación, ya que los valores distan mucho con aquellas muestras geopoliméricas. Por lo que no sería válido incluir esta comparación a nivel experimental.

Con respecto al análisis de la porosidad de pastas geopoliméricas, no se pudo cuantificar en datos numéricos, ya que al someter a estas bajo compactación por presión. La porosidad se redujo exponencialmente. Logrando obtener porosidades casi despreciables, por lo que no se pudo cuantificar. Esto se puede confirmar en el anexo 5, mediante las fotografías de microscopía de pastas.

3.1.3. Resistencia a la compresión de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Figura 8

Resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

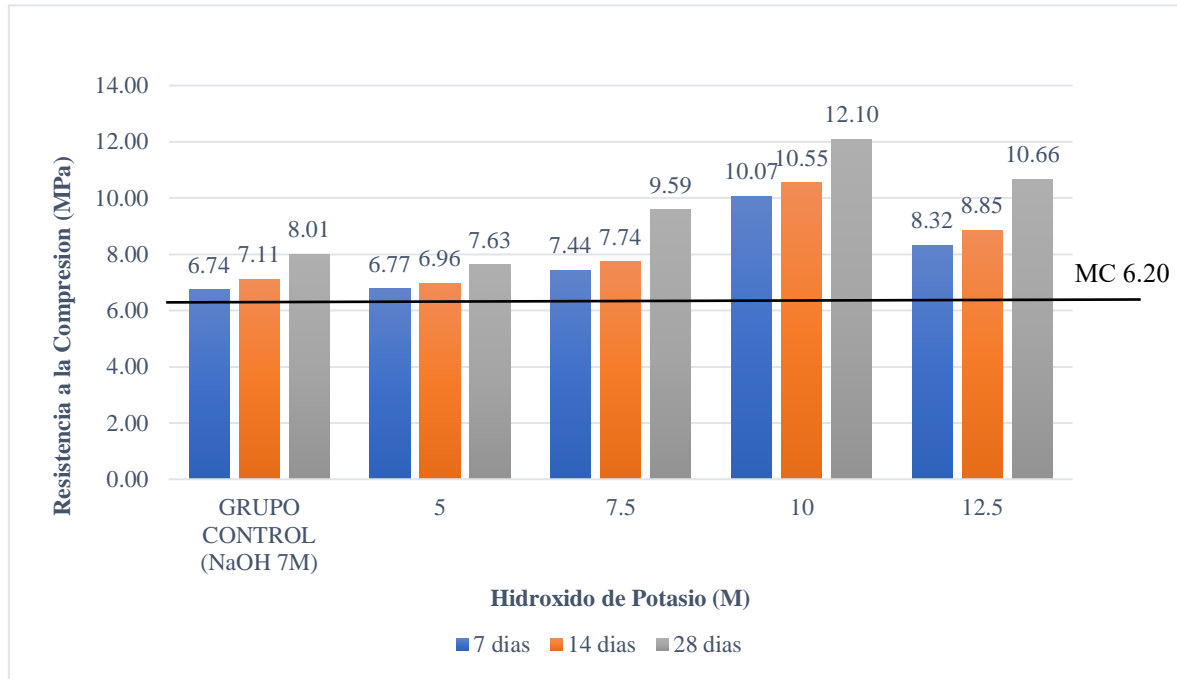


El gráfico siguiente que se presenta, expone un análisis de la resistencia a la compresión en unidades de MPa en pastas geopoliméricas derivadas de escombros en función de la concentración de KOH en unidades de M y el tiempo de ensayo en días. En primer lugar, incluye un grupo control de muestras activadas con NaOH 7M para poder establecer una referencia inicial. Luego, se exploran cuatro niveles diferentes de concentración de hidróxido de potasio, que son 5M, 7.5M, 10M y 12.5M, lo que permite evaluar cómo esta variable afecta las propiedades de las muestras geopoliméricas. Además, se consideran tres edades de ensayo: 7, 14 y 28 días, lo que añade una dimensión temporal al estudio. Cada barra en el gráfico representa un punto de datos único que combina una concentración de hidróxido de potasio específica, una edad de ensayo y la resistencia correspondiente. También se trazó una recta horizontal, con un dato de referencia PC para una muestra de cemento convencional ensayada a 28 días de edad. Al analizar el gráfico, se observa que, al aumentar la concentración de activador, la resistencia a la compresión tiende

a incrementar, en el rango de 5M al nivel 10M. Alcanzando una resistencia máxima de 15.14 MPa en nivel 10M a 28 días. A partir de 10M a 12.5M, por el contrario, se observa que la resistencia tiende a reducir. A pesar de ello, se obtienen valores mayores que los niveles de estudio anteriores, como una resistencia de 13.13 MPa en nivel 12.5M a 28 días. Además, se puede notar cómo esta tendencia varía con el tiempo en cierta medida de forma creciente. A mayor tiempo de edad de ensayo, vemos mayores valores de resistencia mecánica. Por su parte en el grupo control de muestras con NaOH 7M, se observa que sus resultados son comparables con el nivel 7.5M, contando con resultados próximos pero menores que dicho nivel con KOH. Obteniendo una resistencia de 9.78 MPa en Grupo Control a 28 días. También notamos que su tendencia varía en el grupo experimental. Obteniendo mayores valores de resistencia a la compresión a medida que el tiempo de ensayo se incrementa. Por último, comparamos el valor de PC con el valor mínimo de la propiedad mecánica a la misma edad, siendo 7.35 MPa y 8.59 MPa respectivamente. Demostrando que el valor de PC solo nos sirve de dato referencial de comparación a nivel de aplicación, ya que los valores distan con aquellas muestras geopoliméricas. Por lo que no sería válido incluir esta comparación a nivel experimental.

Figura 9

Resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH



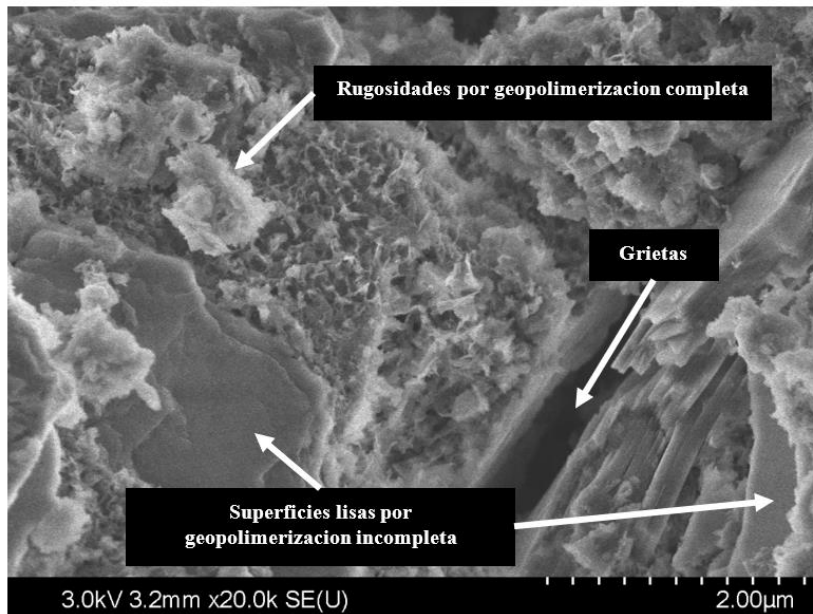
El gráfico siguiente que se presenta, expone un análisis de la resistencia a la compresión en unidades de MPa en morteros geopoliméricos derivados de escombros en función de la concentración de KOH en unidades de M y el tiempo de ensayo en días. Cada barra en el gráfico representa un punto de datos único que combina una concentración de hidróxido de potasio específica, una edad de ensayo y la resistencia correspondiente. También se trazó una recta horizontal, con un dato de referencia MC para una muestra de cemento convencional ensayada a 28 días de edad. Al analizar el gráfico, se observa que, al aumentar la concentración de activador, la resistencia a la compresión tiende a incrementar, en el rango de 5M al nivel 10M. Alcanzando una resistencia máxima de 12.10 MPa en nivel 10M a 28 días. A partir de 10M a 12.5M, por el contrario, se observa que la resistencia tiende a reducir. A pesar de ello, se obtienen valores mayores que los niveles de estudio anteriores, como una resistencia de 10.66 MPa en nivel 12.5M a 28 días. Además, se puede notar cómo esta tendencia varía con el tiempo en cierta medida de forma creciente. A mayor tiempo de edad de ensayo, vemos mayores valores de resistencia mecánica. Por su parte en el grupo control de muestras con NaOH 7M, se observa que sus resultados son comparables con el nivel 7.5M, contando con resultados próximos pero menores que dicho nivel con KOH.

Obteniendo una resistencia de 8.01 MPa en Grupo Control a 28 días. También notamos que su tendencia varía con el tiempo en el grupo experimental. Obteniendo mayores valores de resistencia a la compresión a medida que el tiempo de ensayo se incrementa. Por último, comparamos el valor de MC con el valor mínimo de la propiedad mecánica a la misma edad, siendo 6.20 MPa y 7.63 MPa respectivamente. Demostrando que el valor de MC nos sirve de dato referencial de comparación a nivel de aplicación, ya que los valores distan con aquellas muestras geopoliméricas. Por lo que no sería válido incluir esta comparación a nivel experimental.

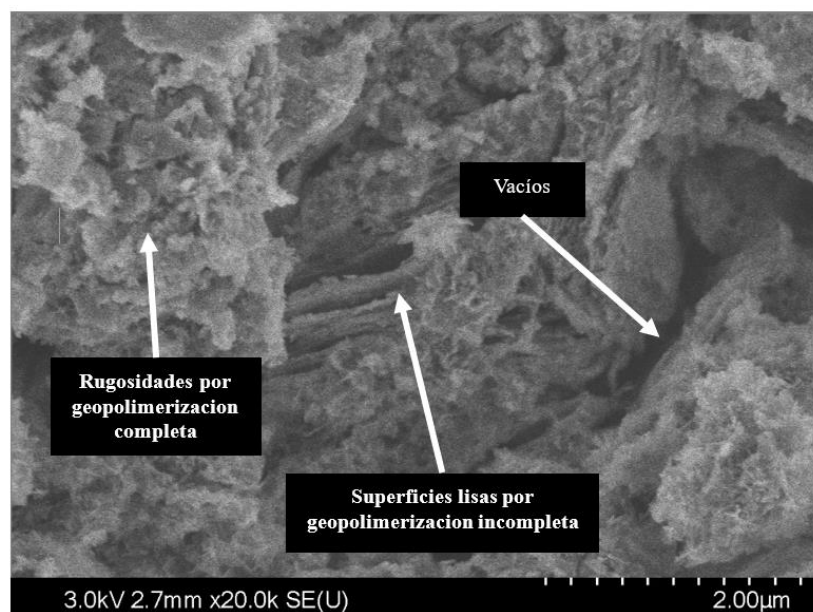
3.1.4. Fases amorfas de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Figura 10

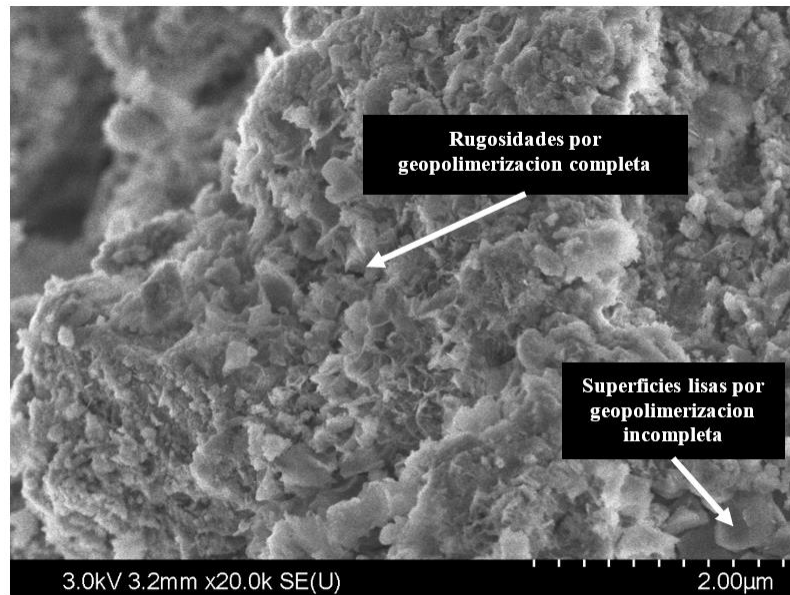
Micrografías por microscopía electrónica de barrido de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH: (a) 5M, (b) 7.5M, (c) 10M y (d) 12.5M



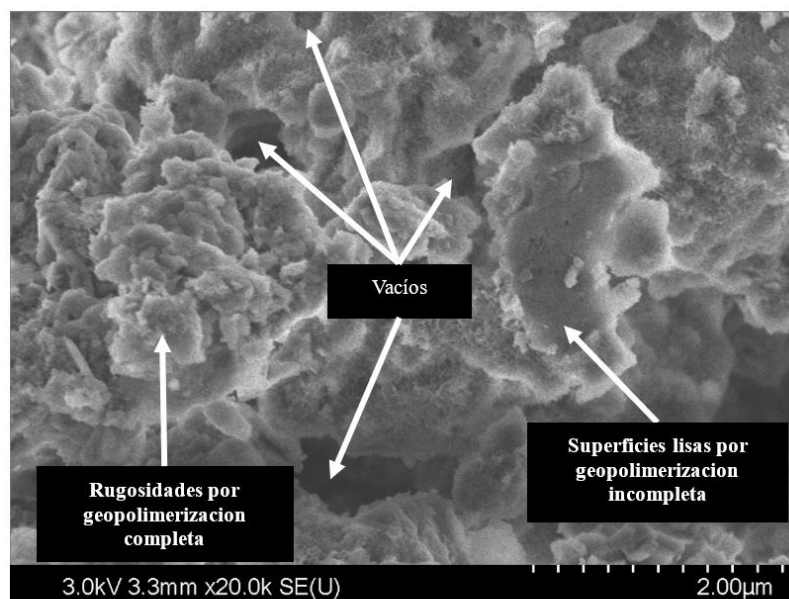
(a)



(b)



(c)



(d)

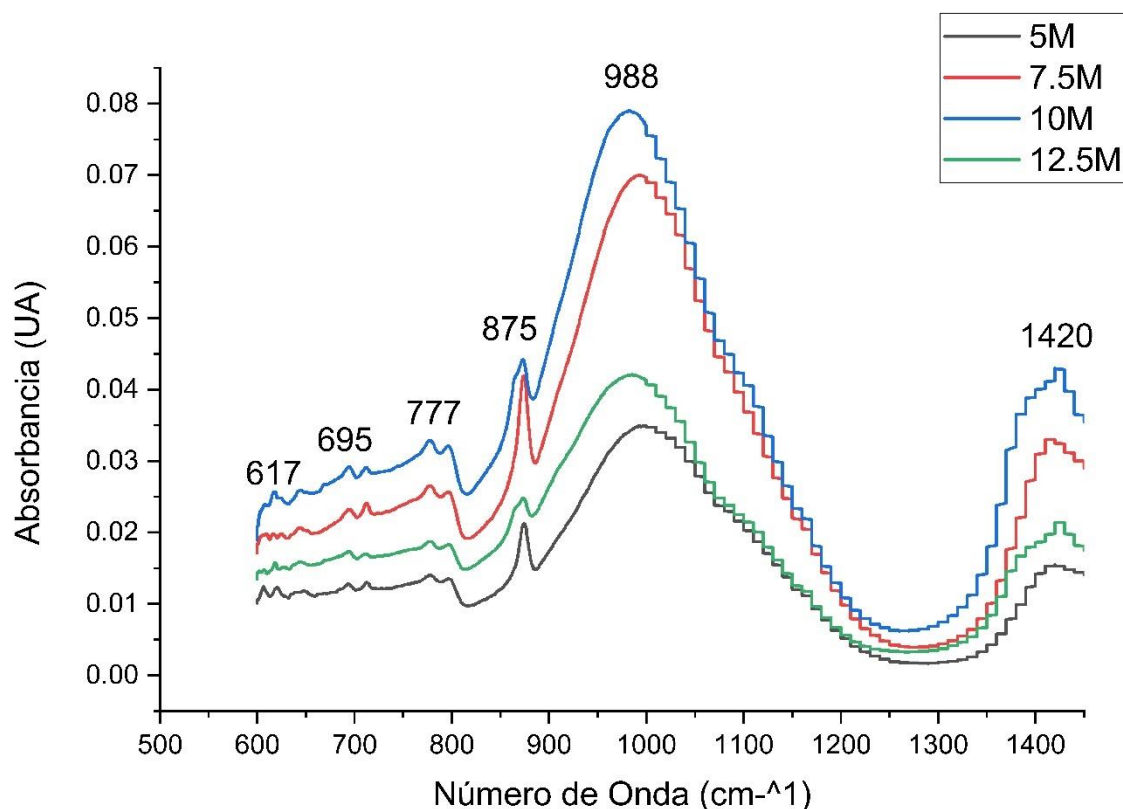
La figura anterior que se presenta, muestra micrografías de la caracterización microscópica de morteros producidos por geopolimerización a partir de escombros, variando la concentración de hidróxido de potasio (KOH). Estas, son cuatro muestras representadas en la figura etiquetadas como (a) 5M, (b) 7.5M, (c) 10M y (d) 12.5M. En la micrografía correspondiente a 5M (a) 5M con un 32% de fases amorfas, se pueden observar superficies lisas de color oscuro que reflejan menos luz, así como regiones con acumulaciones de rugosidades de mayor luminosidad. Además, se destaca una grieta de gran tamaño en la imagen. Esta variación en la textura y la presencia de la grieta sugieren una distribución

heterogénea en la formación de geopolímeros en esta concentración de KOH. En la micrografía de 7.5M (b) 7.5M con un 17% de fases amorfas, se muestran de igual forma las superficies lisas oscuras, pero en menor cantidad, dispersas en ciertas áreas. Por otro lado, las regiones con mayor claridad, que se asumen como partículas de geopolimerización completa, abundan en casi su totalidad. Esta observación indica una mayor uniformidad en la formación de geopolímeros a esta concentración de KOH en comparación con la imagen anterior. En la micrografía de 10M (c) 10M con un 7% de fases amorfas, prevalecen las regiones con acumulaciones de partículas de mayor luminosidad en casi toda la micrografía. Las superficies lisas de color oscuro se presentan en una proporción mínima. Esto sugiere que, a una concentración de 10M de KOH, la formación de geopolímeros se caracteriza por la presencia predominante de partículas y una menor cantidad de áreas lisas, las cuales son las partículas de geopolimerización incompleta. En la micrografía de 12.5M (d) 12.5M con un 22% de fases amorfas, se observa la presencia repetida de vacíos, junto con regiones rugosas acumuladas en grandes cantidades. Además, las superficies lisas son más prominentes en esta imagen en comparación con las otras concentraciones. Estas características indican una variación significativa en la morfología de los geopolímeros en función de la concentración alta de KOH, con una mayor cantidad de vacíos y áreas lisas en esta condición.

3.1.5. Geles C-A-S-H de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Figura 11

Espectros FTIR de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH



El gráfico presentado, expone distintos espectros FTIR que representan a las cuatro muestras geopoliméricas con diferentes concentraciones de activador KOH de morteros a edad de 28 días: a 5M, 7.5M, 10M y 12.5M. El gráfico está compuesto por un eje horizontal el cual muestra el número de onda en unidades cm^{-1} , mientras que el eje vertical representa la absorbancia en unidades UA.

En dichos espectros, se observan distintos picos prominentes, los cuales son indicativos de vibraciones moleculares específicas en las muestras que evidencian enlaces químicos presentes. Los picos observados son en los números de onda 617, 695, 777, 875, 988 y 1420 cm^{-1} . Por otro lado, es importante destacar que los espectros poseen similar

forma, encontrando picos prominentes en los mismos números de onda, aunque con distintas absorbancias. Teniendo así al espectro 10M de KOH mostrando la mayor absorbancia, seguida por las muestras de 7.5M, 12.5M y finalmente 5M.

3.2. Prueba de hipótesis

3.2.1. Densidad de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Figura 12

Prueba de hipótesis de la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	8.65	1.73	0.00145
5M	5	8.48	1.696	0.00093
7.5M	5	8.68	1.736	0.00198
10M	5	9.75	1.95	0.00205
12.5M	5	9.46	1.892	0.00307

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.253864	4	0.063466	33.4736287	1.33309E-08	2.8660814
Dentro de los grupos	0.03792	20	0.001896			
Total	0.291784	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la densidad de nuestras pastas geopoliméricas a partir de escombros a la edad de ensayo de 7 días. Utilizamos el estadístico F para esta prueba y hemos calculado tanto el valor de F observado como la probabilidad asociada a este valor. También tenemos el valor crítico para F, basado

en el nivel de significancia previamente establecido. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 33.47 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso 1.33×10^{-8} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Por otro lado, si la probabilidad es mayor que alfa, no tenemos evidencia suficiente para aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de NaOH en la propiedad física de las pastas geopoliméricas a partir de escombros a la edad de ensayo de 7 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 13

Prueba de hipótesis de la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	8.84	1.768	0.00422
5M	5	8.61	1.722	0.00107
7.5M	5	8.76	1.752	0.00327
10M	5	9.83	1.966	0.00793
12.5M	5	9.51	1.902	0.00102

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.22476	4	0.05619	16.0451171	4.942E-06	2.8660814
Dentro de los grupos	0.07004	20	0.003502			
Total	0.2948	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la densidad

de nuestras pastas geopoliméricas a partir de escombros a la edad de ensayo de 14 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 16.04 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso 4.94×10^{-6} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de NaOH en la propiedad física de las pastas geopoliméricas a partir de escombros a la edad de ensayo de 14 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 14

Prueba de hipótesis de la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
GC	5	9.03	1.806	0.00213
5M	5	8.74	1.748	0.00262
7.5M	5	8.92	1.784	0.00193
10M	5	9.94	1.988	0.00547
12.5M	5	9.59	1.918	0.00157

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.201784	4	0.050446	18.384111	1.7702E-06	2.8660814
Dentro de los grupos	0.05488	20	0.002744			
Total	0.256664	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la densidad de nuestras pastas geopoliméricas a partir de escombros a la edad de ensayo de 28 días. Al

comparar nuestro valor de F observado que es de 18.38 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso 1.77×10^{-6} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de NaOH en la propiedad física de las pastas geopoliméricas a partir de escombros a la edad de ensayo de 28 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 15

Prueba de hipótesis de la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	11.63	2.326	0.00113
5M	5	11.09	2.218	0.00227
7.5M	5	12.371	2.4742	0.0022982
10M	5	12.64	2.528	0.00067
12.5M	5	10.94	2.188	0.00227

ANÁLISIS

DE

VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.4565186	4	0.1141296	66.061008	3.06246E-11	2.8660814
Dentro de los grupos	0.0345528	20	0.0017276			
Total	0.4910714	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la densidad de nuestros morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 7 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 66.06 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos

aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso 3.06×10^{-11} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de NaOH en la propiedad física de los morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 7 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 16

Prueba de hipótesis de la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	11.98	2.396	0.00093
5M	5	11.39	2.278	0.00227
7.5M	5	12.55	2.51	0.00065
10M	5	13.33	2.666	0.00173
12.5M	5	11.61	2.322	0.00277

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.489616	4	0.122404	73.2958084	1.1688E-11	2.8660814
Dentro de los grupos	0.0334	20	0.00167			
Total	0.523016	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la densidad de nuestros morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 14 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 73.30 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso 1.17×10^{-11} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia

significativa de la concentración NaOH en la propiedad física de los morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 14 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 17

Prueba de hipótesis de la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	12.49	2.498	0.00127
5M	5	11.97	2.394	0.00083
7.5M	5	13.74	2.748	0.00097
10M	5	14.23	2.846	0.00188
12.5M	5	12.1	2.42	0.00245

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.829464	4	0.207366	140.112162	2.51324E-14	2.8660814
Dentro de los grupos	0.0296	20	0.00148			
Total	0.859064	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la densidad de nuestros morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 28 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 140.11 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso 2.51×10^{-14} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de NaOH en la propiedad física de los morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 28 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

3.2.2. Porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Figura 18

Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	49.2	9.84	0.143
5M	5	47.5	9.5	0.225
7.5M	5	40.5	8.1	0.325
10M	5	22.8	4.56	0.198
12.5M	5	30.2	6.04	0.233

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	102.7624	4	25.6906	114.28203	1.772E-13	2.8660814
Dentro de los grupos	4.496	20	0.2248			
Total	107.2584	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la porosidad de nuestros morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 7 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 114.28 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso 1.77×10^{-13} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de hidróxido de potasio en la porosidad de los morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 7 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 19

Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	42.3	8.46	0.358
5M	5	40.6	8.12	0.237
7.5M	5	33.9	6.78	0.392
10M	5	18.9	3.78	0.277
12.5M	5	27.6	5.52	0.317

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	74.4904	4	18.6226	58.8950032	8.7978E-11	2.8660814
Dentro de los grupos	6.324	20	0.3162			
Total	80.8144	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la porosidad de nuestros morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 14 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 58.90 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso 8.80×10^{-11} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de hidróxido de potasio en la porosidad de los morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 14 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 20

Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	35	7	0.275
5M	5	31	6.2	0.495
7.5M	5	29.5	5.9	0.35
10M	5	12.1	2.42	0.067
12.5M	5	16.5	3.3	0.115

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	78.9496	4	19.7374	75.79646697	8.55111E-12	2.866081402
Dentro de los grupos	5.208	20	0.2604			
Total	84.1576	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la porosidad de nuestros morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 28 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 75.80 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso 8.55×10^{-12} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de hidróxido de potasio en la porosidad de los morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 28 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

3.2.3. Resistencia a la compresión de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Figura 21

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días

RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
GC	5	38.35	7.67	0.1426	
5M	5	35.25	7.05	0.22665	
7.5M	5	43.84	8.768	0.11342	
10M	5	64.32	12.864	0.11283	
12.5M	5	46.09	9.218	0.16892	

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	102.69132	4	25.67283	167.9235891	4.37504E-15	2.866081402
Dentro de los grupos	3.05768	20	0.152884			
Total	105.749	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la resistencia a la compresión de nuestras pastas geopoliméricas a partir de escombros a la edad de ensayo de 7 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 167.92 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso es 4.38×10^{-15} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de hidróxido de potasio

en la resistencia mecánica de las pastas geopoliméricas de escombros a edad de ensayo de 7 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 22

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	40.07	8.014	0.23033
5M	5	38.48	7.696	0.20953
7.5M	5	48.91	9.782	0.18067
10M	5	67.36	13.472	0.33417
12.5M	5	55.2	11.04	0.34865

ANÁLISIS

DE

VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	112.18258	4	28.045646	107.59062	3.14901E-13	2.8660814
Dentro de los grupos	5.2134	20	0.26067			
Total	117.39598	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la resistencia a la compresión de nuestras pastas geopoliméricas a partir de escombros a la edad de ensayo de 14 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 107.59 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso es 3.15×10^{-13} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de hidróxido de potasio

en la resistencia mecánica de las pastas geopoliméricas de escombros a edad de ensayo de 14 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 23

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días

RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
GC	5	48.92	9.784	0.20098	
5M	5	42.94	8.588	0.17387	
7.5M	5	55.39	11.078	0.36172	
10M	5	75.7	15.14	0.12755	
12.5M	5	65.65	13.13	0.31735	

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	137.49652	4	34.37413	145.47187	1.75073E-14	2.8660814
Dentro de los grupos	4.72588	20	0.236294			
Total	142.2224	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la resistencia a la compresión de nuestras pastas geopoliméricas a partir de escombros a la edad de ensayo de 28 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 145.47 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso es 1.75×10^{-14} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de hidróxido de potasio

en la resistencia mecánica de las pastas geopoliméricas de escombros a edad de ensayo de 28 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 24

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	33.72	6.744	0.07543
5M	5	33.85	6.77	0.05935
7.5M	5	37.2	7.44	0.26945
10M	5	50.33	10.066	0.34528
12.5M	5	41.61	8.322	0.29132

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	38.447416	4	9.611854	46.1739861	7.94699E-10	2.8660814
Dentro de los grupos	4.16332	20	0.208166			
Total	42.610736	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la resistencia a la compresión de nuestros morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 7 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 46.17 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso es 7.95×10^{-10} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de hidróxido de potasio

en la resistencia a la compresión de los morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 7 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 25

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	35.54	7.108	0.06847
5M	5	34.79	6.958	0.15177
7.5M	5	38.72	7.744	0.15863
10M	5	52.75	10.55	0.23825
12.5M	5	44.24	8.848	0.37967

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	44.383576	4	11.095894	55.6581326	1.47358E-10	2.8660814
Dentro de los grupos	3.98716	20	0.199358			
Total	48.370736	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la resistencia a la compresión de nuestros morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 14 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 55.66 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso es 1.47×10^{-10} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de hidróxido de potasio

en la resistencia a la compresión de los morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 14 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Figura 26

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días

RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
GC	5	40.03	8.006	0.15298	
5M	5	38.17	7.634	0.25593	
7.5M	5	47.96	9.592	0.61367	
10M	5	60.52	12.104	0.30273	
12.5M	5	53.29	10.658	0.24517	

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	68.977144	4	17.244286	54.9013232	1.669E-10	2.8660814
Dentro de los grupos	6.28192	20	0.314096			
Total	75.259064	24				

En la figura que se presenta, muestra una prueba de hipótesis realizada para evaluar si la concentración de hidróxido de potasio tiene una influencia significativa en la resistencia a la compresión de nuestros morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 28 días. Al comparar nuestro valor de F observado que es de 54.90 con el valor crítico que es de 2.87, decimos que el valor de F observado es mayor que el valor crítico, significando que podemos aceptar la hipótesis planteada. Ahora, consideramos la probabilidad asociada a nuestro valor de F observado. Si la probabilidad encontrada, en este caso es 1.67×10^{-10} , es menor que nuestro nivel de significancia indicado como alfa $\alpha = 0.05$. Significa que también podemos aceptar la hipótesis planteada. Ante lo expuesto podemos concluir que, si hay una influencia significativa de la concentración de hidróxido de potasio

en la resistencia a la compresión de los morteros geopoliméricos a partir de escombros a la edad de ensayo de 28 días y, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

3.2.4. Fases amorfas de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

En el presente caso de fases amorfas, al efectuar un procedimiento de caracterización mediante SEM y al estar limitados a obtener descripciones de tipo cualitativa de las imágenes, como también a estimaciones aproximadas de la cantidad de fases amorfas, la realización de una prueba de hipótesis estadística se torna inviable.

3.2.5. Geles C-A-S-H de pastas y morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

En este caso con respecto a la formación de geles C-A-S-H, al llevar a cabo un proceso de caracterización utilizando espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y al obtener únicamente descripciones cualitativas de imagen a través de la identificación de picos de grupos funcionales químicos, se hace imposible llevar a cabo una prueba de hipótesis estadística.

IV. DISCUSIÓN

- Los gráficos de las figuras 5 y 6, mostraron un análisis de la densidad de las pastas y morteros geopoliméricos a partir de escombros en función de la concentración de KOH. En donde se observó que a medida que aumenta la concentración de hidróxido de potasio, la densidad tiende a incrementar en el rango de 5M al nivel 10M. Esto se otorga al gran tamaño de partícula que posee el ion K^+ en la solución de KOH, haciendo posible que estos iones se unan a oligómeros de silicato de gran tamaño. Por consecuencia estas uniones hacen que sus enlaces sean más fuertes, al aumentar la concentración de KOH, aumenta la densidad del geopolímero (Lizcano et al., 2012). A partir de 10M a 12.5M, por el contrario, se observó que la densidad tiende a reducirse. Esto es debido a que a altos contenidos de iones K^+ , se generan geopolímeros de carácter cristalino pobre, con alta contracción de red y con alta sensibilidad a la evaporación de agua, lo contribuye a bajas densidades (Omar et al., 2020). También, se notó cómo la tendencia de densidad varía con el tiempo de forma creciente. Es decir, a mayor tiempo de edad de ensayo, resultaron mayores valores de densidad. Esto se debe a que las reacciones de geopolimerización continúan a medida que pasa el tiempo. De esta forma los enlaces químicos entre los componentes del geopolímero se vuelven más fuertes y densos. Conduciendo a la compactación de la estructura molecular y, en última instancia, a una mayor densidad (Lizcano et al., 2012). Por su parte en el grupo control de muestras con NaOH 7M, se observó que sus resultados fueron comparables con el nivel 7.5M, contando con resultados próximos pero mayores que dicho nivel con KOH. Esto se debe a que, pese a que se trabaja con activadores alcalinos a la misma concentración, los geopolímeros que contienen iones Na^+ , por su naturaleza producen geopolímeros de mayor viscosidad induciendo una polimerización de mayor rapidez bajo las mismas condiciones, en comparación con las muestras de geopolímero que contienen iones K^+ , produciendo mezclas menos viscosas y polimerizaciones más lentas (Lizcano et al., 2012).
- Por su parte el gráfico de las figuras 7, mostró el análisis de la propiedad de porosidad en morteros geopoliméricos derivados de escombros en función de la concentración de KOH. Se observó que a medida que aumenta la concentración de hidróxido de potasio, la porosidad tiende a reducirse, en el rango de 5M al nivel 10M. A partir de

10M a 12.5M, por el contrario, se observa que la porosidad tiende a aumentar. A pesar de ello, se obtienen valores menores que los primeros niveles. Esta tendencia es debido a que se sabe que la porosidad y la densidad son propiedades inversamente proporcionales, cuando la densidad aumenta la porosidad disminuye (Radhi & Aljudy, 2022). Por lo que obtenemos las mismas tendencias entre estas propiedades, pero de forma inversa. Por lo que se obtienen menores porosidades debido al mayor contenido de iones K^+ , donde se encuentran enlaces mas fuertes, contribuyendo a una mejor compactación geopolímero (Lizcano et al., 2012). Como también se obtienen mayores porosidades debido a la saturación de iones K^+ , la cual intensifica la eliminación de agua que se produce durante la polimerización (Al-Dujaili et al., 2020). Por su parte en el grupo control de muestras con NaOH 7M, se observó que sus resultados fueron comparables con el nivel 7.5M. Esto se debe a que, pese a que se trabaja con activadores alcalinos a la misma concentración, los geopolímeros que contienen iones Na^+ , por su naturaleza producen geopolímeros de mayor viscosidad induciendo una polimerización de mayor rapidez bajo las mismas condiciones, en comparación con las muestras de geopolímero que contienen iones K^+ , produciendo mezclas menos viscosas y polimerizaciones más lentas (Lizcano et al., 2012).

- La figura 10, presentó las micrografías obtenidas a través de la caracterización microscópica de los morteros producidos por geopolimerización a partir de escombros, variando la concentración de hidróxido de potasio (KOH). En la imagen (a) 5M, se observaron superficies lisas de color oscuro con menos luz, así como también regiones con acumulación de rugosidades de mayor luminosidad. Además, se identificó una grieta de gran tamaño. Estas características ocurrieron debido a que una concentración más baja de KOH 5M podría haber resultado en una reacción menos completa de la geopolimerización, lo que se traduce en áreas lisas que representan material no reaccionado, y en áreas rugosas donde la reacción fue más efectiva. En la imagen (b) 7.5M, se observaron superficies lisas oscuras en menor cantidad, dispersas en ciertas áreas, mientras que las regiones con mayor claridad, supuestas como partículas de geopolimerización completa, predominaron. Estos resultados se deben a que la concentración de KOH en 7.5M permitió una reacción más completa de la geopolimerización, lo que se tradujo en una mayor uniformidad en la formación de los geopolímeros. En la imagen (c) 10M, predominaron las regiones con acumulaciones de partículas de mayor luminosidad en casi toda la

micrografía, con una proporción mínima de superficies lisas de color oscuro. Esto ocurrió debido a que una concentración de 10M de KOH favoreció la formación de partículas de geopolímero, lo que llevó a una menor cantidad de áreas lisas, es decir fases amorfas. La reacción de geopolimerización fue más efectiva en la formación de partículas rugosas en lugar de áreas lisas. Por último, en la imagen (d) 12.5M, se observó la presencia repetida de vacíos, junto con regiones rugosas acumuladas en grandes cantidades, además de un mayor número de superficies lisas. Estas características se deben a que una concentración más alta de KOH 12.5M pudo haber resultado en una reacción excesiva, lo que conllevó a la formación de áreas rugosas (posiblemente por aglomeración) y áreas lisas debido a la sobreexposición a la solución de KOH.

- El gráfico de la figura 11, expuso distintos espectros FTIR que representan a las cuatro muestras geopoliméricas con diferentes concentraciones de activador KOH de morteros a edad de 28 días: a 5M, 7.5M, 10M y 12.5M. Mediante los cuales podremos conformar la formación de geles poliméricos C-A-S-H. El gráfico presentó distintos picos prominentes, los cuales son indicativos de vibraciones moleculares específicas en las muestras que evidencian enlaces químicos presentes. Los picos observados son en los números de onda 617 , 695 , 777 , 875 , 988 y 1420 cm^{-1} . Con respecto al pico 617 cm^{-1} , este representa a enlaces siloxano Si-O-Si, ya que es común estar presente en minerales como la sílice y en estructuras de aluminosilicatos que son frecuentes en escombros (Omar et al., 2020). Los picos 695 cm^{-1} y 777 cm^{-1} representan enlaces Si-O y Si-O-Al por minerales de sílice y aluminosilicato encontrados en minerales arcillosos, los cuales corroboran la formación de geles de geopolímeros en las muestras (Omar et al., 2020). El pico 875 cm^{-1} , muestra la vibración de enlaces Si-OH que es común en minerales y óxidos de silicio, así como en materiales hidratados, por lo que podría ser un reflejo de la presencia de estos componentes (Omar et al., 2020). El pico 988 cm^{-1} se atribuye a los enlaces Si-O-K⁺ característico de zeolitas. Por último, el pico 1420 cm^{-1} se atribuye a las vibraciones de deformación del enlace O-C-O, el cual confirma la presencia de carbonato de potasio. Este enlace se forma debido al contacto atmosférico del activador alcalino (Lee, & van Deventer, 2002). Por lo que, la presencia de ciertos picos característicos de enlaces químicos como: Si-O-Si, Si-O, Si-O-Al y Si-O-K⁺ en los espectros FTIR de las muestras sugiere la formación de geles geopoliméricos C-A-S-H. Esto se

fundamenta en la identificación de componentes geológicos como sílice y aluminosilicatos, así como la presencia de zeolitas y la vibración de enlaces Si-OH. Principalmente se obtienen geles de tipo C-A-S-H (Calcio-Aluminio-Sílice-Hidratado) antes que N-A-S-H (Sodio-Aluminio-Sílice-Hidratado), ya que se tiene como precursor al ion calcio Ca^{2+} en la matriz de escombros. Principalmente en el contenido de cemento que se encuentra en algún porcentaje en los restos de escombros. Además, la presencia de carbonato de potasio indica la influencia del activador alcalino. La importancia de la presencia de estos geles radica en que son característicos de los geopolímeros, lo que sugiere que la variación en la concentración de KOH está influyendo en la formación de una matriz geopolimérica, lo cual es esencial en la geopolimerización de materiales a base de concreto reciclado, ya que estos geles le proporcionan resistencia y durabilidad, contribuyendo a su aplicación en la construcción sostenible y la reducción de residuos. Por otro lado, los espectros poseyeron forma similar, encontrando picos prominentes en los mismos números de onda, aunque con distintas absorbancias. Esta disposición sugiere una relación entre la concentración de KOH y la intensidad de la absorbancia en los picos mencionados. Siendo que los picos de mayor intensidad indican una mayor concentración de los grupos funcionales correspondientes y, por lo tanto, pueden estar asociados con enlaces químicos más fuertes en esas regiones de la muestra (Adelizar, 2020).

- Por último los gráficos de las figuras 8 y 9, muestran un análisis de la resistencia a la compresión de pastas y morteros geopoliméricos derivados de escombros en función de la concentración de KOH. Al analizar el gráfico, se observó que a medida que aumenta la concentración de hidróxido de potasio, la resistencia a la compresión tiende a incrementar, en el rango de 5M al nivel 10M. Esto se debe al gran tamaño y la reactividad baja del ion K^+ a medida que aumenta la concentración en el proceso de polimerización, lo cual hace que esta suceda de manera lenta, pero con una mayor compactación para edades mayores como 28 días, lo que resulta el obtener un geopolímero con mayor resistencia a la compresión (Duxson, 2007). Por el contrario, a partir de 10M a 12.5M, se observó que la resistencia tiende a reducir. Esto viene ligado a la movilidad de los iones que se necesita para que puedan encontrarse con las unidades y darse el proceso de polimerización. Esta movilidad afecta directamente a la velocidad de reacción para la formación de estructuras coaguladas. A medida que

aumenta la concentración del activador alcalino, la concentración de iones también aumenta, limitando así a la movilidad del ión K^+ . Lo que retrasa la formación de estructuras coaguladas de geopolimerización, resultando en geopolímeros de baja resistencia mecánica (Alonso & Palomo, 2001). También, se notó cómo la tendencia varía con el tiempo en cierta medida de forma creciente. A mayor tiempo de edad de ensayo, vemos mayores valores de resistencia mecánica. Este aumento en las resistencias mecánicas de las muestras poliméricas con el tiempo se debe principalmente a la maduración o curado de los materiales poliméricos. Siendo un proceso en el que las cadenas poliméricas continúan reorganizándose y desarrollando enlaces químicos más fuertes a medida que pasa el tiempo (Al-Dujaili et al., 2020). Por su parte en el grupo control de muestras con NaOH 7M, se observa que sus resultados son comparables con el nivel 7.5M, contando con resultados próximos pero mayores que dicho nivel con KOH. Esto es debido a la reacción más rápida de geopolimerización que se obtiene por iones Na^+ en comparación por iones K^+ bajo las mismas condiciones y concentraciones. Por lo que se obtendrán geopolímeros de mayor densidad, menor porosidad y por ende mayor resistencia a la compresión (Lizcano et al., 2012).

V. CONCLUSIONES

- En esta investigación, se estudió la influencia de la concentración de Hidróxido de Potasio (KOH) en la geopolimerización de pastas y morteros a partir de escombros. A lo largo de esta investigación, se llevaron a cabo una serie de análisis y ensayos para evaluar las propiedades físico-químicas y mecánicas de estos materiales.
- En primer lugar, se realizaron ensayos para determinar la propiedad física de densidad según la norma ASTM C188, como también el método de caracterización SEM para porosidad y fases amorfas. Los resultados obtenidos revelaron que la concentración de KOH tiene un impacto significativo en la densidad y porosidad de las muestras geopoliméricas de forma inversa. Este impacto significativo se dio a concentraciones de KOH en el rango 5M a 10M, obteniendo una densidad máxima y una porosidad mínima de 2.85 g/cm^3 y 2.4% respectivamente en morteros de nivel 10M a edad de ensayo de 28 días. Por su parte, los resultados obtenidos del método de caracterización SEM para analizar la morfología de las pastas y morteros, revelaron que la concentración de KOH tiene un impacto significativo en la morfología de las muestras. A medida que aumentaba la concentración de KOH de 5M a 10M, se observó una morfología libre de defectos y con mayor superficie de reacción completa. Lo que sugiere una relación directa entre la concentración de KOH y las propiedades físicas de las muestras en dicho rango de concentración.
- El método de caracterización FTIR se utilizó para analizar las propiedades químicas de los grupos funcionales presentes en las pastas y morteros mediante los geles C-A-S-H. Los resultados indicaron que la concentración de KOH influye en la formación de enlaces químicos a través de formación de geles C-A-S-H en las muestras geopoliméricas. Se observó una mayor intensidad de picos característicos en el espectro FTIR a medida que se aumentaba la concentración de KOH, lo que sugiere una mayor formación de enlaces geopoliméricos con concentraciones más altas de KOH.
- Finalmente, se realizaron pruebas de compresión según la norma ASTM C109 para evaluar las propiedades mecánicas de los morteros geopoliméricos. Los resultados demostraron que la concentración de KOH tiene un impacto significativo en la resistencia a la compresión de los materiales en el rango 5M a 10M. A medida que la concentración de KOH aumentaba, se observó un incremento en la resistencia a la

compresión de los morteros, lo que indica que una mayor concentración de KOH conduce a propiedades mecánicas optimizadas de los materiales geopoliméricos en dicho rango. Obteniendo una resistencia a la compresión máxima de 15.14 MPa 12.10 MPa en morteros y pastas respectivamente de nivel 10M a edad de ensayo de 28 días.

VI. RECOMENDACIONES

- Explorar una mayor gama de concentraciones de KOH para comprender cómo diferentes niveles afectan la formación de geopolímeros y sus propiedades finales.
- Investigar cómo el tiempo de curado influye en la formación y el desarrollo de las propiedades de los geopolímeros, ya sea estudios a corto como a largo plazo para observar cambios con el tiempo.
- Incluir diversos tipos de escombros para examinar cómo las variaciones en la fuente de los materiales influyen en la reacción de geopolimerización y las propiedades resultantes.
- Realizar un análisis del ciclo de vida para evaluar el impacto ambiental de la producción de geopolímeros a partir de escombros y compararlo con otras alternativas de materiales de construcción.
- Examinar aplicaciones particulares para los geopolímeros producidos, como materiales de albañilería o aglutinantes para productos prefabricados, y evaluar sus propiedades en relación con las necesidades de estas aplicaciones.
- Investigar la utilización de activadores alternativos al KOH, como el silicato de sodio, y comparar cómo afectan la formación y las propiedades de los geopolímeros.
- Investigar la optimización del proceso de producción de geopolímeros para mejorar la eficiencia y la calidad del producto final, incluyendo la identificación de métodos de mezcla más efectivos o condiciones de curado óptimas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adelizar, Arie & Olvianas, Muhammad & Adythia, D & Syafiyurrahman, M & Arvin Nanda Pratama, I Gusti Agung & Astuti, Widi & Petrus, Himawan. (2020). *Fly Ash and Bottom Ash Utilization as Geopolymer: Correlation on Compressive Strength and Degree of Polymerization Observed using FTIR*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 742. 012042. 10.1088/1757-899X/742/1/012042.
- Ahmed, Saeed & Najm, Hadee & Hassan, Amer & Sabri, Mohanad & Qaidi, Shaker & Mashaan, Nuha & Ansari, Khalid. (2022). *Properties and Applications of Geopolymer Composites: A Review Study of Mechanical and Microstructural Properties*. Materials.
- Alkhareef, Hamad. (2017). *MATERIALS TECHNOLOGY OF FUEL CELLS*. Advanced Materials. 1. 1-10. 10.13140/RG.2.2.10800.05129.
- Al-Dujaili, Mohammed & Disher, Imad & Hassan, Zainab & Zayer, Z. (2020). *Optimizing the Properties of Metakaolin-based (Na, K)-Geopolymer using Taguchi Design Method*. 33. 631-638. 10.5829/ije.2020.33.04a.14.
- Alonso, S., & Palomo, A. (2001). *Alkaline activation of metakaolin and calcium hydroxide mixtures: influence of temperature, activator concentration and solids ratio*. Materials Letters, 47(1-2), 55–62. doi:10.1016/s0167-577x(00)00212-3
- Arnau, J. (1995). *Metodología de la investigación en psicología*. En M. T. Métodos de investigación en Psicología (Cap. 1). Madrid: Síntesis.
- Bedoya-Montoya, C. M. (2003). *El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Bhandari, P. (2023). *Ethical Considerations in Research | Types & Examples*. Recuperado de: <https://www.scribbr.com/methodology/research-ethics/#:~:text=considerations%20in%20research%3F-,Ethical%20considerations%20in%20research%20are%20a%20set%20of%20principles%20that,for%20harm%2C%20and%20results%20communication>.
- Cajal, A. (2020). *Observación directa: características, tipos y ejemplo*. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/observacion-directa/>
- Callister, W.D. (2003). *Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales*. John Wiley & Sons EE. UU., ISBN 0-471-22471-5
- Cámara de comercio de Lima. (2018). Recuperado de: https://www.camaralima.org.pe/0/modulos/NOT/NOT_DetallarNoticia.aspx?PFL=0&NOT=1228.
- Castro, A. (2015). *Recolección de datos: Fichas*. Recuperado de: <https://melpe025.files.wordpress.com/2015/03/lasfichas-amycastro14215.pdf>

- Cavero, M., (2020). *Influencia del porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz y la concentración del activador alcalino sobre la remoción de iones cromo de filtros geopoliméricos basados en metacaolín*. Tesis, Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16004>
- Cong, P y Cheng, Y. (2021). *Advances in geopolymer materials: A comprehensive review*. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.03.004>
- Cuffari, B. (2019). *The Applications of Mortar in Construction*. Azo Build. Recuperado de: <https://www.azobuild.com/article.aspx?ArticleID=8344>
- Duxson, Peter & Mallicoat, S. & Lukey, G. & Kriven, Waltraud & Van Deventer, Jannie. (2007). *The Effect of Alkali and Si/Al Ratio on the Development of Mechanical Properties of Metakaolin-Based Geopolymers*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 292. 8-20. 10.1016/j.colsurfa.2006.05.044.
- El Comercio. (2017). *Lima y la generación de desmonte*. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/lima-generan-19-mil-toneladas-desmonte-dia-70-mar-rios-noticia-453274>
- Gilliam, R.J; Graydon, J.W; Kirk, D.W y Thorpe, S.J. (2007). *A review of specific conductivities of potassium hydroxide solutions for various concentrations and temperatures*.
- Hardjito, D., & Tsen, M. Z. (2008). *Strength and thermal stability of fly ash-based geopolymer mortar*. In The 3rd International Conference-ACF/VCA2008 (pp. 144-149).
- Kumator, J., et al. (2020). *Effect of potassium hydroxide and lime on the sorptivity of OPC-CPA-Lime-KOH blended mortars*. International Journal of Applied Science and Engineering, 17(4), 405-409.
- Label Planet. (2020) *What is porosity? | Porosity Definition*. Recuperado de: <https://www.labelplanet.co.uk/glossary/porosity/>
- Lee, W. K. W., & van Deventer, J. S. J. (2002). *The effects of inorganic salt contamination on the strength and durability of geopolymers*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 211(2-3), 115–126. doi:10.1016/s0927-7757(02)00239-x
- Lecca, E., Rondo, J. (2022). *Influencia del hidróxido de sodio sobre la resistencia a compresión y conductividad térmica de probetas aislantes geopoliméricas a base de andalucita*. Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/20412>
- Lizcano, Maricela & Kim, Hyun & Basu, Sandip & Radovic, Miladin. (2012). *Mechanical Properties of Sodium and Potassium Activated Metakaolin-Based Geopolymers*. Journal of Materials Science. 47. 2607-2616. 10.1007/s10853-011-6085-4.

- Mahan, G.; Zallen, R y Douglas, R. (2019). *Amorphous solid*. Recuperado de: <https://www.britannica.com/science/amorphous-solid>
- Muñoz, S., (2023). *Influencia de la CCA con yeso y fibras de ichu en la elaboración de Geopolímeros*. Universidad Nacional del Santa. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4322>
- National Center for Biotechnology Information (2023). *Potassium Hydroxide*.
- Omar, Sore & Messan, Adamah & Prud'homme, Elodie & Escadeillas, G. & Tsobnang, Francois. (2020). *Comparative Study on Geopolymer Binders Based on Two Alkaline Solutions (NaOH and KOH)*. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 08. 407-420. 10.4236/jmmce.2020.86026.
- Pawluczuk, E., Kalinowska-Wichrowska, K., & Soomro, M. (2021). *Alkali-Activated Mortars with Recycled Fines and Hemp as a Sand*. Materials, 14(16), 4580. <https://doi.org/10.3390/ma14164580>
- Purbasari, A., Samadhi, T. W., & Bindar, Y. (2018). *The Effect of Alkaline Activator Types on Strength and Microstructural Properties of Geopolymer from Co-Combustion Residuals of Bamboo and Kaolin*. Indonesian Journal of Chemistry, 18(3), 397-402.
- Puertas, F.; Palacios, M.; Manzano, H.; Dolado, J.; Rico, A. y Rodriguez, J. (2014). *C-A-S-H gels formed in alkali-activated slag cement pastes. Structure and effect on cement properties and durability*.
- Radhi, A. & Aljudy, H. (2022). *The Impact of Mixed NaOH and KOH Mole Fraction on Mechanical Performance of Metakaolin Based Geopolymer Material*. DOI: 10.26655/JMCHEMSCI.2023.5.17
- Rahmiati, T., Azizli, K. A., Man, Z., Ismail, L., & Nuruddin, M. F. (2014). *The effect of KOH concentration on setting time and compressive strength of fly ash-based geopolymer*. Applied Mechanics and Materials, 625, 94-97.
- Raja, T., Reddy, S., Chaitanya, P., Devaraju, J., Kumar, R., Althaf, S & Liyaz, N. (2023). *Performance of Geopolymer Concrete with Combined Use of Sodium Hydroxide and Potassium Hydroxide*. <https://doi.org/10.55524/ijirem.2023.10.2.16>
- Schultz, Heinz; Bauer, Günter; Schachl, Erich; Hagedorn, Fritz; Schmittinger, Peter (2005). *"Potassium Compounds"*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim, Germany: Wiley-VCH. https://doi.org/10.1002/14356007.a22_039. ISBN 978-3-527-30673-2
- Suárez-Silgado, S. S., Betancourt-Quiroga, C., Molina-Benavides, J., & Mahecha-Vanegas, L. (2019). *La Gestión de los residuos de Construcción y demolición en villavicencio: Estado actual, Barreras E Instrumentos de Gestión**. Entramado. <https://www.redalyc.org/journal/2654/265460762014/html/>

- The Economist. (2019). *Safe Cities Index 2019: Urban security and resilience in an interconnected world*. Recuperado de: <https://safecities.economist.com/wp-content/uploads/2019/08/Aug-5-ENG-NEC-Safe-Cities-2019-270x210-19-screen.pdf>
- Warren, S. (2020). *GUIDE TO CONCRETE CONSTRUCTION*. Cement concrete & aggregates Australia. Recuperado de: https://ccaa.com.au/common/Uploaded%20files/CCAA/Publications/Technical%20Publications/Complete_Guide_to_Concrete_Construction_2020_Edition.pdf
- Yang, H; Liu, L; Yang, W; Liu, H; Ahmad, W; Ahmad, A; Aslam, F y Joyklad, P. (2022). *A comprehensive overview of geopolymer composites: A bibliometric analysis and literature review*.
- Young, D. (2021). *Mortars: materials, mixes and methods A guide to repointing mortar joints in older building*.
- Yong, Heah & Ming, Liew & Abdullah, Mohd Mustafa Al Bakri & Kamarudin, H.. (2015). Fire Resistant Properties of Geopolymers: A Review. *Key Engineering Materials*. 660. 39-43. 10.4028/www.scientific.net/KEM.660.39
- Zimmerman, A. (2020). *An Introduction to Density: Definition and Calculation*. Recuperado de: <https://www.thoughtco.com/what-is-density-definition-and-calculation-2698950>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

TITULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
INFLUENCIA DE KOH SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS Y MECANICAS DE PASTAS Y MORTEROS OBTENIDAS POR GEOPOLIMERIZACIÓN A PARTIR DE ESCOMBROS	¿Cuál es la influencia de la concentración de Hidróxido de Potasio sobre las propiedades fisico-químicas y mecánicas de pastas y morteros obtenidas por geopolimerización a partir de escombros?	<p>Hipótesis General El incremento de la concentración de hidróxido de potasio modifica las propiedades fisico-químicas y mecánicas de pastas y morteros obtenidas por geopolimerización a partir de escombros</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> El incremento de la concentración de hidróxido de potasio en el rango de 5M a 12.5M, modifica la composición química; incrementa la formación de geles tipo C-A-S-H de pastas y morteros a partir de escombros. El incremento de la concentración de hidróxido de potasio en el rango de 5M a 12.5M, modifica 	<p>Objetivo General Determinar la influencia de la concentración de Hidróxido de Potasio (KOH) sobre las propiedades fisico-químicas y mecánicas de pastas y morteros obtenidas por geopolimerización a partir de escombros.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar las propiedades físicas en densidad y caracterización microscópica de la morfología de las pastas y morteros mediante ensayos estándar, siguiendo la norma ASTM C188 y método de caracterización SEM. Determinar las propiedades químicas de los grupos funcionales resultantes de las pastas y morteros mediante método de caracterización FTIR. Determinar las propiedades mecánicas 	<p>Variable Independiente Concentración de hidróxido de potasio</p> <p>Variables dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> Esfuerzo de compresión Densidad Porosidad Porcentaje de fases amorfas Formación de geles tipo C-A-S-H 	<p>M: Molaridad (M)</p> <p>σ: Esfuerzo (MPa)</p> <p>ρ: Densidad (g/cm³)</p> <p>P: Porosidad (%)</p> <p>Registro fotográfico digital de porcentajes</p> <p>Registro de diferencia de espectros IR</p>	<p>Tipo Aplicada, explicativa y Cuantitativa</p> <p>Métodos Deductivo</p> <p>Diseño Experimental</p> <p>Población Todas las pastas y morteros geopoliméricos a partir de escombros activados por NaOH y KOH.</p> <p>Muestra 75 pastas cilíndricas y 75 morteros cúbicos obtenidos por geopolimerización a partir de escombros activados de forma alcalina en distintas concentraciones de KOH de dimensiones 25mm diámetro x 50mm altura y 50x50x50mm respectivamente.</p>

la resistencia mecánica, incrementa la resistencia a la compresión de pastas y morteros a partir de escombros.

- El incremento de la concentración de hidróxido de potasio en el rango de 5M a 12.5M, modifica las propiedades físicas; reduce la porosidad y porcentaje de fases amorfas, e incrementa la densidad de pastas y morteros a partir de escombros.

en esfuerzos de compresión de los morteros mediante ensayos estándar, siguiendo la norma ASTM C109.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación directa y Formatos de instrumentos de medición.

Métodos de análisis de investigación

ANOVA unidireccional

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Items	Instrumentos	Escala de medición
Variable independiente Concentración de hidróxido de potasio	Es un compuesto inorgánico que tiene una fórmula 'KOH'. Tiene múltiples aplicaciones industriales y de nicho, la mayoría de las cuales aprovecha su naturaleza cáustica y su reactividad para los ácidos (Schultz et al., 2005).	Medida de masa soluto sobre el peso molecular de soluto por volumen de solución.	$M = m/(PM*V)$ M: Molaridad (M) m: masa (g) PM: peso molecular (g/mol) V: volumen (L)	Formulario	Nominal	Fichas de observación	M
Variable dependiente Esfuerzo de compresión	Esfuerzo de compresión de un material es el valor del esfuerzo de compresión uniaxial alcanzado cuando el material falla por completo. Suele obtenerse experimentalmente mediante un ensayo de compresión. El aparato utilizado para este ensayo es el mismo de prueba de tracción (Callister, 2003).	Registro de carga aplicada versus área de muestra en función del tiempo	$ec = F/A$ ec: Esfuerzo (MPa) F: Fuerza (N) A: Área (mm ²)	Formulario	Nominal	Fichas de observación	MPa
Variable dependiente Densidad	La densidad de un material se determina como la masa contenida en una cantidad específica de volumen del material. También se considera como la medida de compactación que posee un material. Es una propiedad física única de un objeto en particular (Zimmerman, 2020).	Registro unidad de masa sobre unidad de volumen de muestra	$p = m/v$ p: Densidad (g/cm ³) m: Masa (g) v: Volumen (cm ³)	Formulario	Nominal	Fichas de observación	g/cm ³
Variable dependiente	Corresponde a una evaluación de los espacios vacíos presentes	Registro del cociente del	$P = ((pa - pr)/pa)*100$	Formulario	Nominal	Fichas de observación	%

Porosidad	en un material, expresada como una fracción que representa el volumen de los espacios vacíos con respecto al volumen total del material, entre 0 y 1, o como un porcentaje entre 0 % y 100 % (Label Planet, 2020).	volumen de vacíos sobre volumen total de muestra	P: Porosidad (%) pa: Densidad aparente sin compactación (g/cm ³) pr: Densidad real (g/cm ³)				
Variable dependiente Porcentaje de fases amorfas	Se refiere a materiales sólidos que no presentan una estructura cristalina ordenada, donde los átomos y moléculas no siguen un patrón reticular específico. Algunos ejemplos de estos sólidos comprenden el vidrio, el plástico y el gel (Mahan et al., 2019).	Registro de porcentaje de fases de muestra	Registro fotográfico digital de porcentajes	Formulario	Nominal	Fichas de observación	%
Variable dependiente Formación de geles tipo C-A-S-H	Los geles C-A-S-H son la principal sustancia formada como consecuencia de la activación alcalina de aluminosilicatos y su estructura exhibe diferencias según el tipo de activador empleado (Puertas et al., 2014).	Registro de transmitancia sobre número de onda de muestra	Registro de diferencia de espectros IR	Formulario	Nominal	Fichas de observación	Espectro FTIR

Anexo 3: Resultados prueba de hipótesis

Prueba de hipótesis de la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	8.65	1.73	0.00145
5M	5	8.48	1.696	0.00093
7.5M	5	8.68	1.736	0.00198
10M	5	9.75	1.95	0.00205
12.5M	5	9.46	1.892	0.00307

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.253864	4	0.063466	33.4736287	1.33309E-08	2.8660814
Dentro de los grupos	0.03792	20	0.001896			
Total	0.291784	24				

Prueba de hipótesis de la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	8.84	1.768	0.00422
5M	5	8.61	1.722	0.00107
7.5M	5	8.76	1.752	0.00327
10M	5	9.83	1.966	0.00793
12.5M	5	9.51	1.902	0.00102

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.22476	4	0.05619	16.0451171	4.942E-06	2.8660814
Dentro de los grupos	0.07004	20	0.003502			
Total	0.2948	24				

Prueba de hipótesis de la densidad de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	9.03	1.806	0.00213
5M	5	8.74	1.748	0.00262
7.5M	5	8.92	1.784	0.00193
10M	5	9.94	1.988	0.00547
12.5M	5	9.59	1.918	0.00157

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.201784	4	0.050446	18.384111	1.7702E-06	2.8660814
Dentro de los grupos	0.05488	20	0.002744			
Total	0.256664	24				

Prueba de hipótesis de la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	11.63	2.326	0.00113
5M	5	11.09	2.218	0.00227
7.5M	5	12.371	2.4742	0.0022982
10M	5	12.64	2.528	0.00067
12.5M	5	10.94	2.188	0.00227

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.4565186	4	0.1141296	66.061008	3.06246E-11	2.8660814
Dentro de los grupos	0.0345528	20	0.0017276			
Total	0.4910714	24				

Prueba de hipótesis de la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	11.98	2.396	0.00093
5M	5	11.39	2.278	0.00227
7.5M	5	12.55	2.51	0.00065
10M	5	13.33	2.666	0.00173
12.5M	5	11.61	2.322	0.00277

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.489616	4	0.122404	73.2958084	1.1688E-11	2.8660814
Dentro de los grupos	0.0334	20	0.00167			
Total	0.523016	24				

Prueba de hipótesis de la densidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	12.49	2.498	0.00127
5M	5	11.97	2.394	0.00083
7.5M	5	13.74	2.748	0.00097
10M	5	14.23	2.846	0.00188
12.5M	5	12.1	2.42	0.00245

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.829464	4	0.207366	140.112162	2.51324E-14	2.8660814
Dentro de los grupos	0.0296	20	0.00148			
Total	0.859064	24				

Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	49.2	9.84	0.143
5M	5	47.5	9.5	0.225
7.5M	5	40.5	8.1	0.325
10M	5	22.8	4.56	0.198
12.5M	5	30.2	6.04	0.233

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	102.7624	4	25.6906	114.28203	1.772E-13	2.8660814
Dentro de los grupos	4.496	20	0.2248			
Total	107.2584	24				

Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	42.3	8.46	0.358
5M	5	40.6	8.12	0.237
7.5M	5	33.9	6.78	0.392
10M	5	18.9	3.78	0.277
12.5M	5	27.6	5.52	0.317

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	74.4904	4	18.6226	58.8950032	8.7978E-11	2.8660814
Dentro de los grupos	6.324	20	0.3162			
Total	80.8144	24				

Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	35	7	0.275
5M	5	31	6.2	0.495
7.5M	5	29.5	5.9	0.35
10M	5	12.1	2.42	0.067
12.5M	5	16.5	3.3	0.115

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	78.9496	4	19.7374	75.79646697	8.55111E-12	2.866081402
Dentro de los grupos	5.208	20	0.2604			
Total	84.1576	24				

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	38.35	7.67	0.1426
5M	5	35.25	7.05	0.22665
7.5M	5	43.84	8.768	0.11342
10M	5	64.32	12.864	0.11283
12.5M	5	46.09	9.218	0.16892

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	102.69132	4	25.67283	167.9235891	4.37504E-15	2.866081402
Dentro de los grupos	3.05768	20	0.152884			
Total	105.749	24				

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	40.07	8.014	0.23033
5M	5	38.48	7.696	0.20953
7.5M	5	48.91	9.782	0.18067
10M	5	67.36	13.472	0.33417
12.5M	5	55.2	11.04	0.34865

ANÁLISIS

DE

VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	112.18258	4	28.045646	107.59062	3.14901E-13	2.8660814
Dentro de los grupos	5.2134	20	0.26067			
Total	117.39598	24				

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	48.92	9.784	0.20098
5M	5	42.94	8.588	0.17387
7.5M	5	55.39	11.078	0.36172
10M	5	75.7	15.14	0.12755
12.5M	5	65.65	13.13	0.31735

ANÁLISIS DE

VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	137.49652	4	34.37413	145.47187	1.75073E-14	2.8660814
Dentro de los grupos	4.72588	20	0.236294			
Total	142.2224	24				

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 7 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	33.72	6.744	0.07543
5M	5	33.85	6.77	0.05935
7.5M	5	37.2	7.44	0.26945
10M	5	50.33	10.066	0.34528
12.5M	5	41.61	8.322	0.29132

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	38.447416	4	9.611854	46.1739861	7.94699E-10	2.8660814
Dentro de los grupos	4.16332	20	0.208166			
Total	42.610736	24				

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
GC	5	35.54	7.108	0.06847
5M	5	34.79	6.958	0.15177
7.5M	5	38.72	7.744	0.15863
10M	5	52.75	10.55	0.23825
12.5M	5	44.24	8.848	0.37967

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	44.383576	4	11.095894	55.6581326	1.47358E-10	2.8660814
Dentro de los grupos	3.98716	20	0.199358			
Total	48.370736	24				

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH a 28 días

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
GC	5	40.03	8.006	0.15298
5M	5	38.17	7.634	0.25593
7.5M	5	47.96	9.592	0.61367
10M	5	60.52	12.104	0.30273
12.5M	5	53.29	10.658	0.24517

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	68.977144	4	17.244286	54.9013232	1.669E-10	2.8660814
Dentro de los grupos	6.28192	20	0.314096			
Total	75.259064	24				

Anexo 4: Resultados de laboratorio

Resultados de densidades de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Densidad (g/cm ³)						
Edad de ensayo: 7 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
PEP - 1 / GC	1.68	1.73	1.71	1.78	1.75	1.73
PE1 - 1 / 5M	1.74	1.66	1.68	1.71	1.69	1.70
PE2 - 1 / 7.5M	1.77	1.71	1.79	1.73	1.68	1.74
PE3 - 1 / 10M	2.00	1.93	1.94	1.99	1.89	1.95
PE4 - 1 / 12.5M	1.94	1.83	1.86	1.96	1.87	1.89
Edad de ensayo: 14 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
PEP - 2 / GC	1.72	1.71	1.79	1.87	1.75	1.77
PE1 - 2 / 5M	1.68	1.77	1.71	1.73	1.72	1.72
PE2 - 2 / 7.5M	1.81	1.66	1.74	1.78	1.77	1.75
PE3 - 2 / 10M	1.93	2.12	1.94	1.89	1.95	1.97
PE4 - 2 / 12.5M	1.86	1.94	1.92	1.91	1.88	1.90
Edad de ensayo: 28 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
PEP - 3 / GC	1.75	1.83	1.78	1.87	1.80	1.81
PE1 - 3 / 5M	1.69	1.74	1.79	1.81	1.71	1.75
PE2 - 3 / 7.5M	1.72	1.80	1.81	1.76	1.83	1.78
PE3 - 3 / 10M	1.92	1.97	2.10	1.93	2.02	1.99
PE4 - 3 / 12.5M	1.88	1.95	1.90	1.97	1.89	1.92

Resultados de densidades de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Densidad (g/cm ³)						
Edad de ensayo: 7 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
MEP - 1 / GC	2.30	2.37	2.29	2.35	2.32	2.33
ME1 - 1 / 5M	2.19	2.25	2.21	2.28	2.16	2.22
ME2 - 1 / 7.5M	2.50	2.44	2.53	2.41	2.49	2.47
ME3 - 1 / 10M	2.56	2.50	2.51	2.52	2.55	2.53
ME4 - 1 / 12.5M	2.16	2.22	2.18	2.25	2.13	2.19
Edad de ensayo: 14 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
MEP - 2 / GC	2.42	2.35	2.42	2.41	2.38	2.40
ME1 - 2 / 5M	2.25	2.31	2.27	2.34	2.22	2.28
ME2 - 2 / 7.5M	2.48	2.54	2.49	2.51	2.53	2.51
ME3 - 2 / 10M	2.70	2.63	2.72	2.63	2.65	2.67
ME4 - 2 / 12.5M	2.29	2.36	2.31	2.39	2.26	2.32
Edad de ensayo: 28 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
MEP - 3 / GC	2.46	2.54	2.49	2.53	2.47	2.50
ME1 - 3 / 5M	2.42	2.35	2.41	2.41	2.38	2.39
ME2 - 3 / 7.5M	2.77	2.78	2.72	2.76	2.71	2.75
ME3 - 3 / 10M	2.80	2.88	2.84	2.90	2.81	2.85
ME4 - 3 / 12.5M	2.39	2.46	2.41	2.48	2.36	2.42

Resultados de porosidades de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Porosidad (%)						
Edad de ensayo: 7 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
MEP - 1 / GC	7.8	8.4	8.7	7.8	8.3	8.2
ME1 - 1 / 5M	10.0	9.1	8.9	9.7	9.8	9.5
ME2 - 1 / 7.5M	7.6	8.9	7.8	7.7	8.5	8.1
ME3 - 1 / 10M	5.1	4.5	4.8	3.9	4.5	4.6
ME4 - 1 / 12.5M	6.6	5.7	6.3	6.2	5.4	6.0
Edad de ensayo: 14 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
MEP - 2 / GC	7.1	7.5	6.9	7.6	7.3	7.3
ME1 - 2 / 5M	8.6	7.4	8.5	8.2	7.9	8.1
ME2 - 2 / 7.5M	6.2	6.6	7.8	6.9	6.4	6.8
ME3 - 2 / 10M	4.5	3.2	3.7	4.1	3.4	3.8
ME4 - 2 / 12.5M	6.2	4.8	5.8	5.1	5.7	5.5
Edad de ensayo: 28 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
MEP - 3 / GC	6.0	5.7	5.8	6.2	6.3	6.0
ME1 - 3 / 5M	5.6	6.8	5.3	6.8	6.5	6.2
ME2 - 3 / 7.5M	5.2	6.6	6.0	5.4	6.3	5.9
ME3 - 3 / 10M	2.6	2.1	2.5	2.2	2.7	2.4
ME4 - 3 / 12.5M	3.8	2.9	3.1	3.4	3.3	3.3

Resultados de resistencia a la compresión de pastas obtenidas por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Resistencia a la Compresión (MPa)						
Edad de ensayo: 7 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
PEP - 1 / GC	7.14	7.89	8.12	7.48	7.72	7.67
PE1 - 1 / 5M	7.67	7.31	6.41	6.84	7.02	7.05
PE2 - 1 / 7.5M	9.23	8.32	8.75	8.63	8.91	8.77
PE3 - 1 / 10M	12.75	13.14	12.68	12.47	13.28	12.86
PE4 - 1 / 12.5M	8.73	9.21	9.27	9.85	9.03	9.22
Edad de ensayo: 14 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
PEP - 2 / GC	8.61	7.31	7.84	8.14	8.17	8.01
PE1 - 2 / 5M	8.28	7.03	7.88	7.73	7.56	7.70
PE2 - 2 / 7.5M	10.22	9.15	10.03	9.57	9.94	9.78
PE3 - 2 / 10M	14.04	13.16	13.47	12.68	14.01	13.47
PE4 - 2 / 12.5M	10.68	10.93	11.75	11.52	10.32	11.04
Edad de ensayo: 28 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
PEP - 3 / GC	10.35	9.43	9.89	10.01	9.24	9.78
PE1 - 3 / 5M	9.13	8.22	8.93	8.24	8.42	8.59
PE2 - 3 / 7.5M	10.45	11.83	11.51	10.53	11.07	11.08
PE3 - 3 / 10M	14.67	15.11	15.32	15.62	14.98	15.14
PE4 - 3 / 12.5M	13.77	12.46	13.35	13.45	12.62	13.13

Resultados de resistencia a la compresión de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH

Resistencia a la Compresión (MPa)						
Edad de ensayo: 7 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
MEP - 1 / GC	7.04	6.37	6.58	6.77	6.96	6.74
ME1 - 1 / 5M	6.75	6.85	6.53	6.58	7.14	6.77
ME2 - 1 / 7.5M	8.16	7.09	7.14	7.82	6.99	7.44
ME3 - 1 / 10M	9.32	9.76	9.98	10.44	10.83	10.07
ME4 - 1 / 12.5M	8.91	8.1	8.72	7.54	8.34	8.32
Edad de ensayo: 14 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
MEP - 2 / GC	7.04	7.55	7.11	6.88	6.96	7.11
ME1 - 2 / 5M	7.45	6.55	6.78	6.72	7.29	6.96
ME2 - 2 / 7.5M	7.21	8.1	8.14	7.49	7.78	7.74
ME3 - 2 / 10M	10.03	10.4	11.21	10.22	10.89	10.55
ME4 - 2 / 12.5M	8.14	9.44	9.55	8.59	8.52	8.85
Edad de ensayo: 28 días						
Mezcla	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Prom
MEP - 3 / GC	8.54	8.1	7.5	7.78	8.11	8.01
ME1 - 3 / 5M	7.55	7.84	7.45	8.35	6.98	7.63
ME2 - 3 / 7.5M	9.93	8.34	10.26	9.33	10.1	9.59
ME3 - 3 / 10M	12.45	11.82	11.36	12.78	12.11	12.10
ME4 - 3 / 12.5M	10.22	11.05	10.41	11.32	10.29	10.66

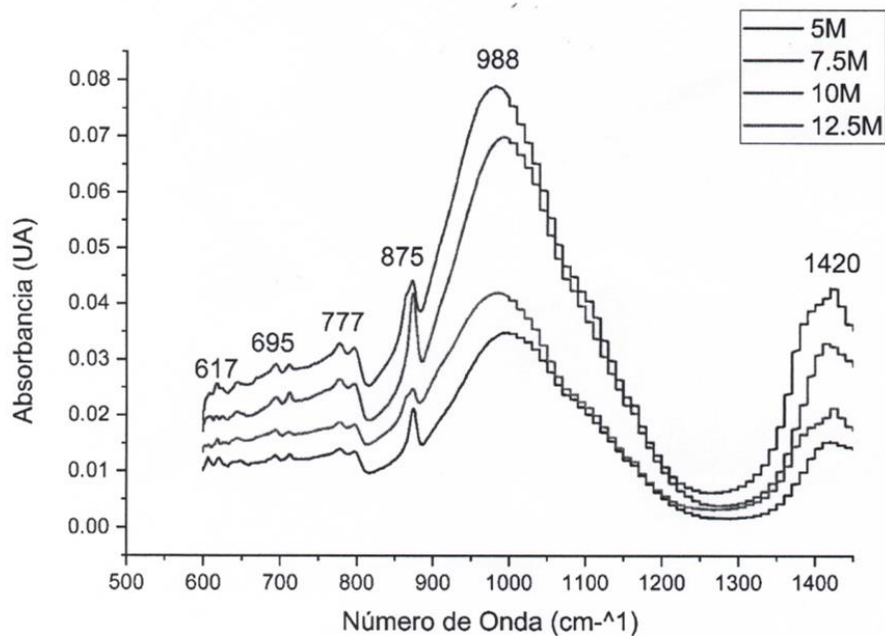


UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

Facultad de Ingeniería

Departamento Académico de Ingeniería de Materiales

Figura 1.0. Espectros FTIR de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH



Dr. Ing. Vega Anticona Alexander Y.
Jefe de Laboratorio

Anexo 5: fotos

Recolección de los escombros (ladrillos y concretos)



Trituración de los escombros (ladrillos y concretos)



Materiales previamente pulverizados en la maquina pulverizadora (*ladrillos y concretos*)



Tamizado de polvo de ladrillo y concreto



Morteros muestras control



Morteros 5M KOH



Morteros 7.5M KOH



Morteros 10M KOH



Morteros 12.5M KOH



Pastas Muestras Control



Pastas 5M KOH



Pastas 7.5M KOH



Pastas 10M KOH



Pastas 12.5M KOH



Activación alcalina de muestras



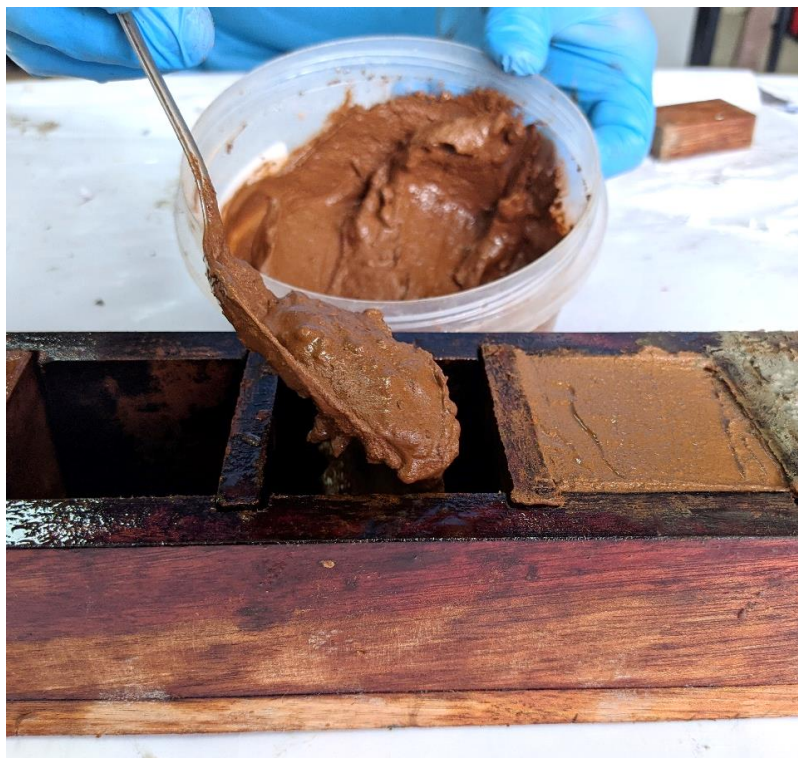
Amasado de muestras



Ubicación de pastas en molde



Ubicación de morteros en molde



Compactación de morteros en molde



Base superior de pasta



Base inferior de pasta



Pasta obtenida por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH



Ensayo de compresión de pastas



Pasta después de fallo por esfuerzo a la compresión



Base superior de mortero



Base inferior de mortero



Mortero obtenido por geopolimerización a partir de escombros bajo la influencia de la concentración de KOH



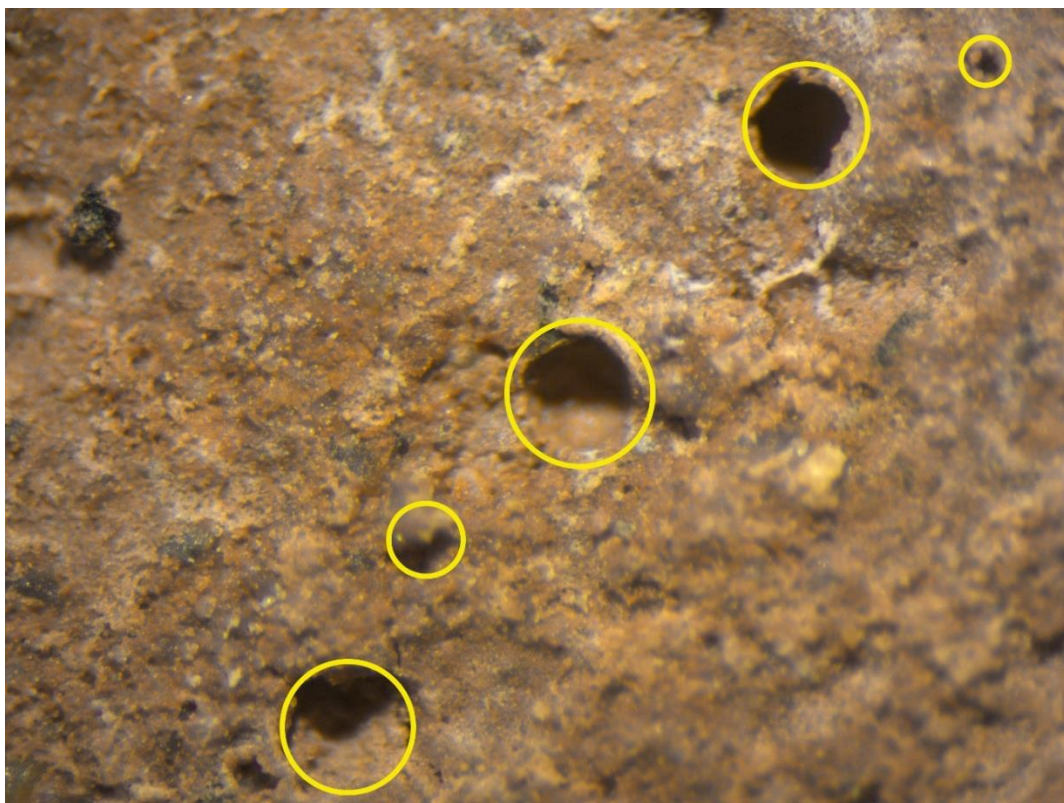
Ensayo de compresión de morteros



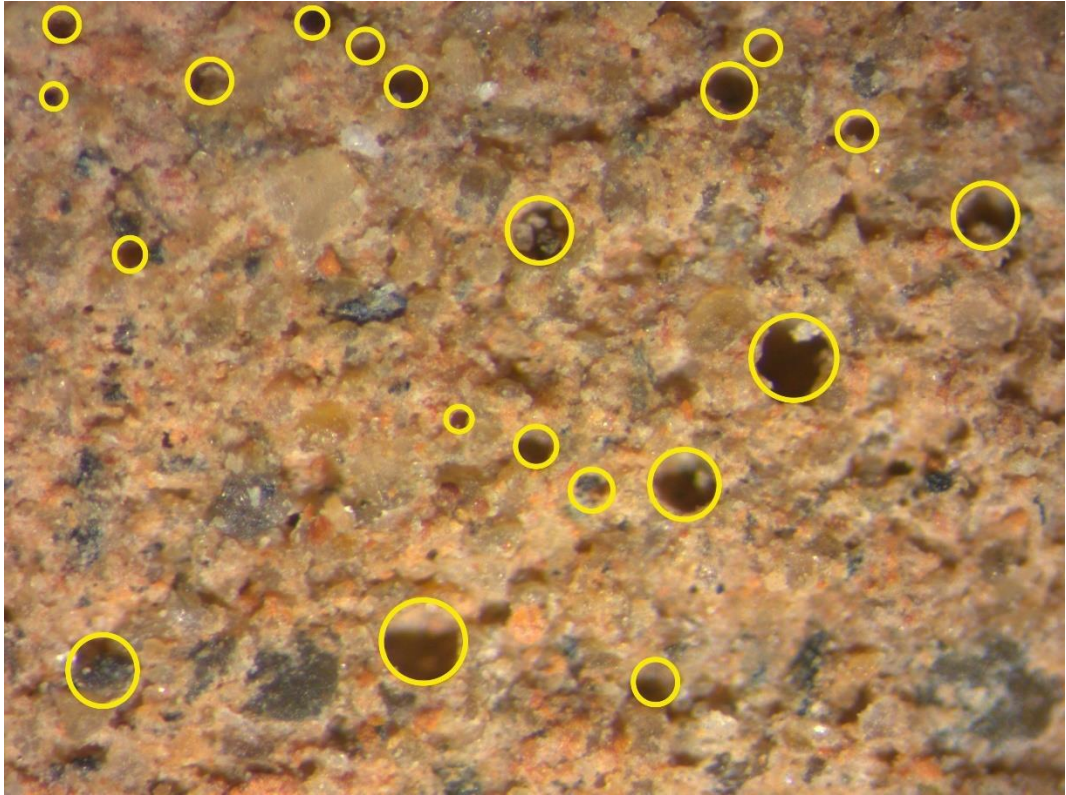
Mortero después de fallo por esfuerzo a la compresión



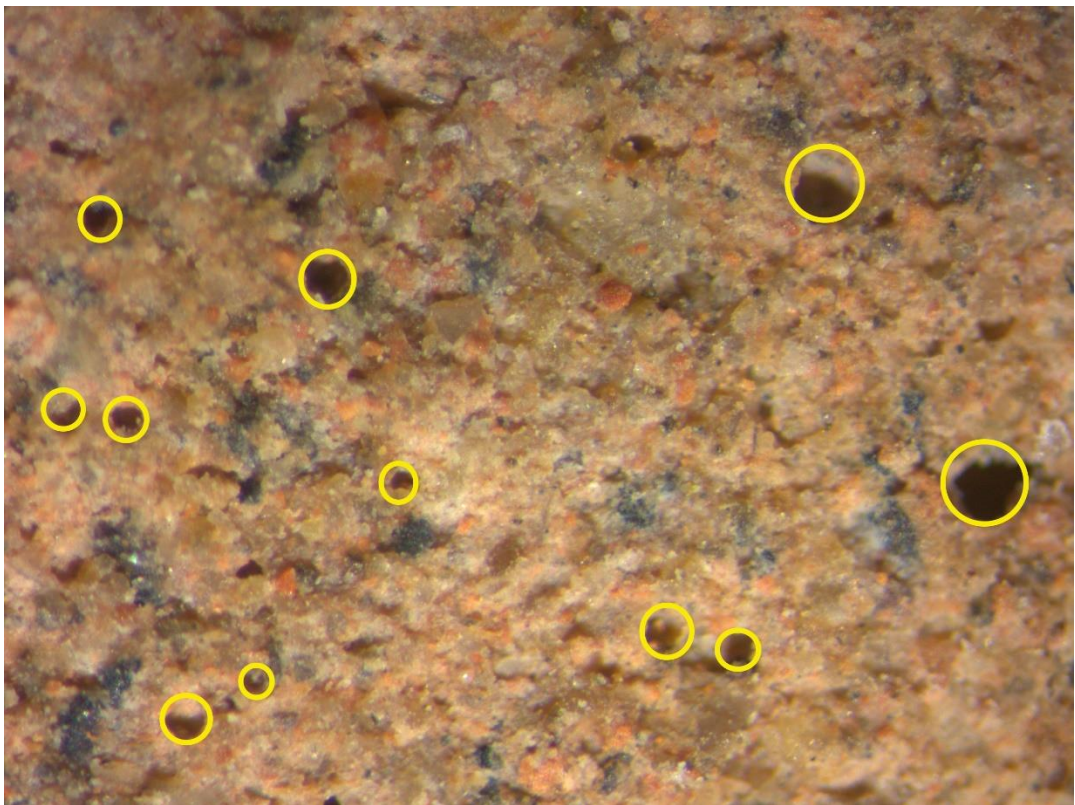
Porosidad de mortero grupo control



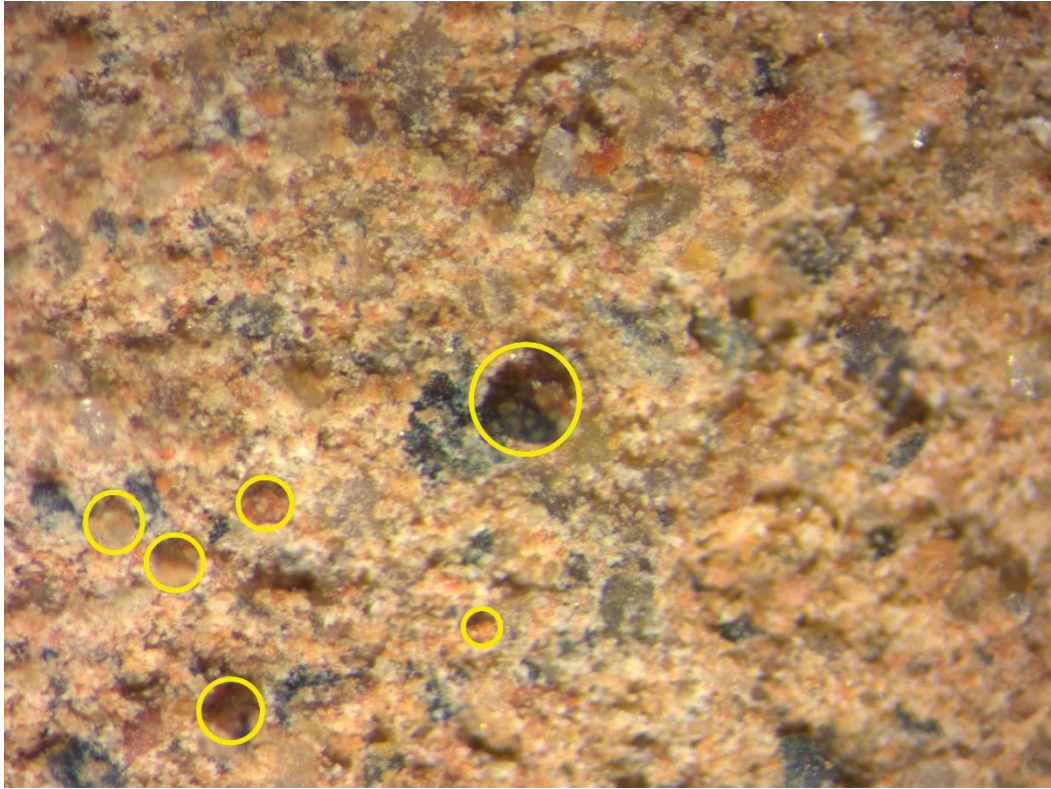
Porosidad de mortero 5M KOH



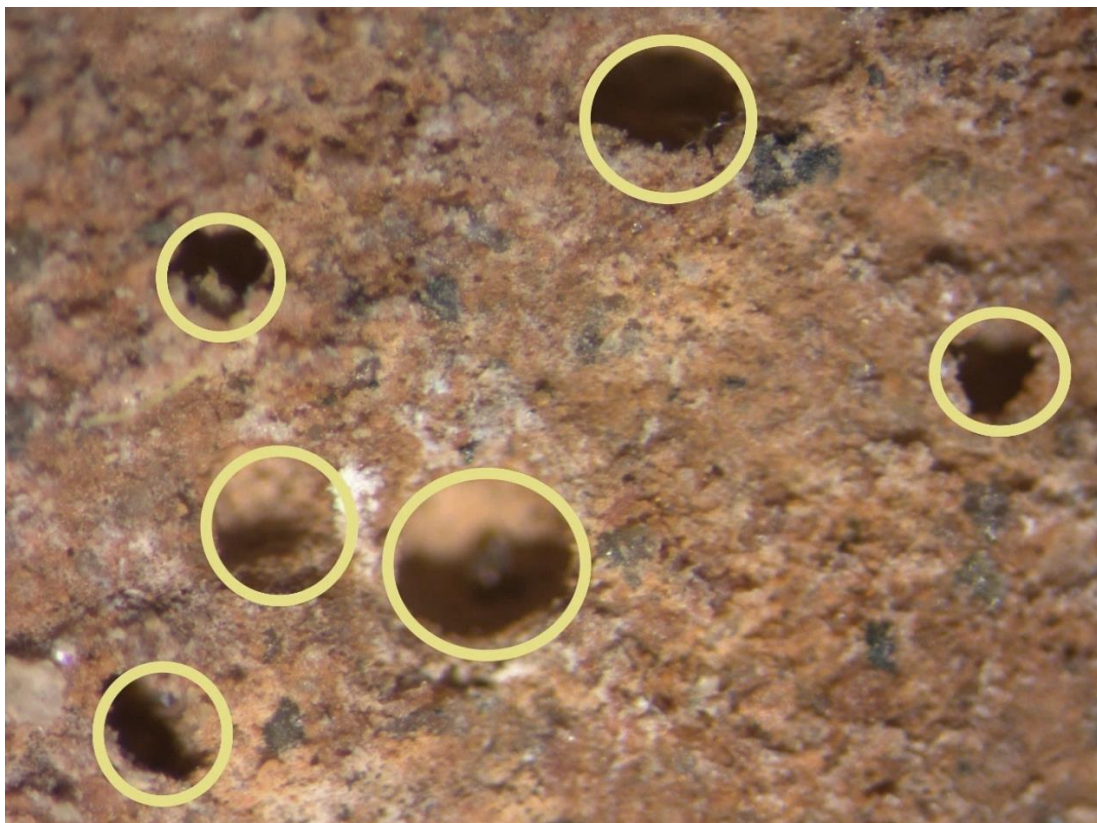
Porosidad de mortero 7.5M KOH



Porosidad de mortero 10M KOH



Porosidad de mortero 12.5M KOH



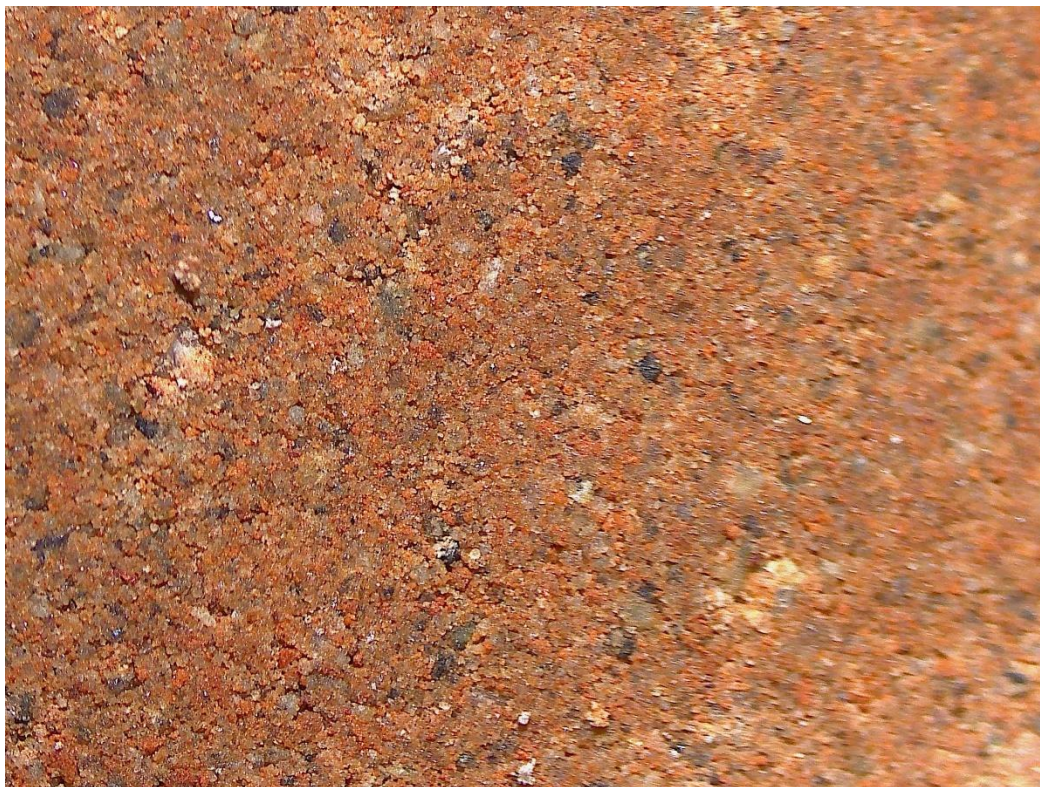
Porosidad de pasta grupo control



Porosidad de pasta 5M KOH



Porosidad de pasta 7.5M KOH



Porosidad de pasta 10M KOH



Porosidad de pasta 12.5M KOH





Designation: C 109/C 109M – 08

Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)¹

This standard is issued under the fixed designation C 109/C 109M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers determination of the compressive strength of hydraulic cement mortars, using 2-in. or [50-mm] cube specimens.

NOTE 1—Test Method C 349 provides an alternative procedure for this determination (not to be used for acceptance tests).

1.2 This test method covers the application of the test using either inch-pound or SI units. The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 Values in SI units shall be obtained by measurement in SI units or by appropriate conversion, using the Rules for Conversion and Rounding given in Standard IEEE/ASTM SI 10, of measurements made in other units.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Fresh hydraulic cementitious mixtures are caustic and may cause chemical burns to skin and tissue upon prolonged exposure.)²*

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:³
- C 91 Specification for Masonry Cement

- C 114 Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement
- C 150 Specification for Portland Cement
- C 230/C 230M Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement
- C 305 Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency
- C 349 Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure)
- C 511 Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes
- C 595 Specification for Blended Hydraulic Cements
- C 618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- C 778 Specification for Standard Sand
- C 989 Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars
- C 1005 Specification for Reference Masses and Devices for Determining Mass and Volume for Use in the Physical Testing of Hydraulic Cements
- C 1157 Performance Specification for Hydraulic Cement
- C 1328 Specification for Plastic (Stucco) Cement
- C 1329 Specification for Mortar Cement
- C 1437 Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar
- IEEE/ASTM SI 10 Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System

3. Summary of Test Method

3.1 The mortar used consists of 1 part cement and 2.75 parts of sand proportioned by mass. Portland or air-entraining portland cements are mixed at specified water/cement ratios. Water content for other cements is that sufficient to obtain a flow of 110 ± 5 in 25 drops of the flow table. Two-inch or [50-mm] test cubes are compacted by tamping in two layers.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C01 on Cement and is the direct responsibility of Subcommittee C01.27 on Strength.

Current edition approved Dec. 1, 2008. Published January 2009. Originally approved in 1934. Last previous edition approved in 2007 as C 109/C 109M – 07¹.

² See the section on Safety, Manual of Cement Testing, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.01.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

The cubes are cured one day in the molds and stripped and immersed in lime water until tested.

4. Significance and Use

4.1 This test method provides a means of determining the compressive strength of hydraulic cement and other mortars and results may be used to determine compliance with specifications. Further, this test method is referenced by numerous other specifications and test methods. Caution must be exercised in using the results of this test method to predict the strength of concretes.

5. Apparatus

5.1 *Weights and Weighing Devices*, shall conform to the requirements of Specification **C 1005**. The weighing device shall be evaluated for precision and accuracy at a total load of 2000 g.

5.2 *Glass Graduates*, of suitable capacities (preferably large enough to measure the mixing water in a single operation) to deliver the indicated volume at 20 °C. The permissible variation shall be ±2 mL. These graduates shall be subdivided to at least 5 mL, except that the graduation lines may be omitted for the lowest 10 mL for a 250-mL graduate and for the lowest 25 mL of a 500-mL graduate. The main graduation lines shall be circles and shall be numbered. The least graduations shall extend at least one seventh of the way around, and intermediate graduations shall extend at least one fifth of the way around.

5.3 *Specimen Molds*, for the 2-in. or [50-mm] cube specimens shall be tight fitting. The molds shall have not more than three cube compartments and shall be separable into not more than two parts. The parts of the molds when assembled shall be positively held together. The molds shall be made of hard metal not attacked by the cement mortar. For new molds the Rockwell hardness number of the metal shall be not less than 55 HRB. The sides of the molds shall be sufficiently rigid to prevent spreading or warping. The interior faces of the molds shall be plane surfaces and shall conform to the tolerances of **Table 1**.

5.4 *Mixer, Bowl and Paddle*, an electrically driven mechanical mixer of the type equipped with paddle and mixing bowl, as specified in Practice **C 305**.

5.5 *Flow Table and Flow Mold*, conforming to the requirements of Specification **C 230/C 230M**.

5.6 *Tamper*, a nonabsorptive, nonabrasive, nonbrittle material such as a rubber compound having a Shore A durometer hardness of 80 ± 10 or seasoned oak wood rendered nonabsorptive by immersion for 15 min in paraffin at approximately 392 °F or [200 °C], shall have a cross section of about ½ by

1 in. or [13 by 25 mm] and a convenient length of about 5 to 6 in. or [120 to 150 mm]. The tamping face shall be flat and at right angles to the length of the tamper.

5.7 *Trowel*, having a steel blade 4 to 6 in. [100 to 150 mm] in length, with straight edges.

5.8 *Moist Cabinet or Room*, conforming to the requirements of Specification **C 511**.

5.9 *Testing Machine*, either the hydraulic or the screw type, with sufficient opening between the upper bearing surface and the lower bearing surface of the machine to permit the use of verifying apparatus. The load applied to the test specimen shall be indicated with an accuracy of ±1.0 %. If the load applied by the compression machine is registered on a dial, the dial shall be provided with a graduated scale that can be read to at least the nearest 0.1 % of the full scale load (**Note 2**). The dial shall be readable within 1 % of the indicated load at any given load level within the loading range. In no case shall the loading range of a dial be considered to include loads below the value that is 100 times the smallest change of load that can be read on the scale. The scale shall be provided with a graduation line equal to zero and so numbered. The dial pointer shall be of sufficient length to reach the graduation marks; the width of the end of the pointer shall not exceed the clear distance between the smallest graduations. Each dial shall be equipped with a zero adjustment that is easily accessible from the outside of the dial case, and with a suitable device that at all times until reset, will indicate to within 1 % accuracy the maximum load applied to the specimen.

5.9.1 If the testing machine load is indicated in digital form, the numerical display must be large enough to be easily read. The numerical increment must be equal to or less than 0.10 % of the full scale load of a given loading range. In no case shall the verified loading range include loads less than the minimum numerical increment multiplied by 100. The accuracy of the indicated load must be within 1.0 % for any value displayed within the verified loading range. Provision must be made for adjusting to indicate true zero at zero load. There shall be provided a maximum load indicator that at all times until reset will indicate within 1 % system accuracy the maximum load applied to the specimen.

NOTE 2—As close as can be read is considered ½₅₀ in. or [0.5 mm] along the arc described by the end of the pointer. Also, one half of the scale interval is about as close as can reasonably be read when the spacing on the load indicating mechanism is between ½₂₅ in. or [1 mm] and ½₁₆ in. or [1.6 mm]. When the spacing is between ½₁₆ in. or [1.6 mm] and ½₈ in. or [3.2 mm], one third of the scale interval can be read with reasonable certainty. When the spacing is ½₈ in. or [3.2 mm] or more, one fourth of the scale interval can be read with reasonable certainty.

TABLE 1 Permissible Variations of Specimen Molds

Parameter	2-in. Cube Molds		[50-mm] Cube Molds	
	New	In Use	New	In Use
Planeness of sides	<0.001 in.	<0.002 in.	[<0.025 mm]	[<0.05 mm]
Distance between opposite sides	2 in. ± 0.005	2 in. ± 0.02	[50 mm ± 0.13 mm]	[50 mm ± 0.50 mm]
Height of each compartment	2 in. + 0.01 in. to - 0.005 in.	2 in. + 0.01 in. to - 0.015 in.	[50 mm + 0.25 mm to - 0.13 mm]	[50 mm + 0.25 mm to - 0.38 mm]
Angle between adjacent faces ^A	90 ± 0.5°	90 ± 0.5°	90 ± 0.5°	90 ± 0.5°

^A Measured at points slightly removed from the intersection. Measured separately for each compartment between all the interior faces and the adjacent face and between interior faces and top and bottom planes of the mold.



5.9.2 The upper bearing shall be a spherically seated, hardened metal block firmly attached at the center of the upper head of the machine. The center of the sphere shall lie at the center of the surface of the block in contact with the specimen. The block shall be closely held in its spherical seat, but shall be free to tilt in any direction. A hardened metal bearing block shall be used beneath the specimen to minimize wear of the lower platen of the machine. To facilitate accurate centering of the test specimen in the compression machine, one of the two surfaces of the bearing blocks shall have a diameter or diagonal of between 2.83 in. [70.7 mm] (See **Note 3**) and 2.9 in. [73.7 mm]. When the upper block bearing surface meets this requirement, the lower block bearing surface shall be greater than 2.83 in. [70.7 mm]. When the lower block bearing surface meets this requirement, the diameter or diagonal of upper block bearing surface shall be between 2.83 and $3\frac{1}{8}$ in. [70.7 and 79.4 mm]. When the lower block is the only block with a diameter or diagonal between 2.83 and 2.9 in. [70.7 and 73.7 mm], the lower block shall be used to center the test specimen. In that case, the lower block shall be centered with respect to the upper bearing block and held in position by suitable means. The bearing block surfaces intended for contact with the specimen shall have a Rockwell hardness number not less than 60 HRC. These surfaces shall not depart from plane surfaces by more than 0.0005 in. [0.013 mm] when the blocks are new and shall be maintained within a permissible variation of 0.001 in. or [0.025 mm].

NOTE 3—The diagonal of a 2 in. [50 mm] cube is 2.83 in. [70.7 mm].

6. Materials

6.1 Graded Standard Sand:

6.1.1 The sand (**Note 4**) used for making test specimens shall be natural silica sand conforming to the requirements for graded standard sand in Specification **C 778**.

NOTE 4—*Segregation of Graded Sand*—The graded standard sand should be handled in such a manner as to prevent segregation, since variations in the grading of the sand cause variations in the consistency of the mortar. In emptying bins or sacks, care should be exercised to prevent the formation of mounds of sand or craters in the sand, down the slopes of which the coarser particles will roll. Bins should be of sufficient size to permit these precautions. Devices for drawing the sand from bins by gravity should not be used.

7. Temperature and Humidity

7.1 *Temperature*—The temperature of the air in the vicinity of the mixing slab, the dry materials, molds, base plates, and mixing bowl, shall be maintained between 73.5 ± 5.5 °F or $[23.0 \pm 3.0$ °C]. The temperature of the mixing water, moist closet or moist room, and water in the storage tank shall be set at 73.5 ± 3.5 °F or $[23 \pm 2$ °C].

7.2 *Humidity*—The relative humidity of the laboratory shall be not less than 50%. The moist closet or moist room shall conform to the requirements of Specification **C 511**.

8. Test Specimens

8.1 Make two or three specimens from a batch of mortar for each period of test or test age.

9. Preparation of Specimen Molds

9.1 Apply a thin coating of release agent to the interior faces of the mold and non-absorptive base plates. Apply oils and greases using an impregnated cloth or other suitable means. Wipe the mold faces and the base plate with a cloth as necessary to remove any excess release agent and to achieve a thin, even coating on the interior surfaces. When using an aerosol lubricant, spray the release agent directly onto the mold faces and base plate from a distance of 6 to 8 in. or [150 to 200 mm] to achieve complete coverage. After spraying, wipe the surface with a cloth as necessary to remove any excess aerosol lubricant. The residue coating should be just sufficient to allow a distinct finger print to remain following light finger pressure (**Note 5**).

9.2 Seal the surfaces where the halves of the mold join by applying a coating of light cup grease such as petrolatum. The amount should be sufficient to extrude slightly when the two halves are tightened together. Remove any excess grease with a cloth.

9.3 Seal molds to their base plates with a watertight sealant. Use microcrystalline wax or a mixture of three parts paraffin to five parts rosin by mass. Paraffin wax is permitted as a sealant with molds that clamp to the base plate. Liquefy the wax by heating it to a temperature of between 230 and 248 °F or [110 and 120 °C]. Effect a watertight seal by applying the liquefied sealant at the outside contact lines between the mold and its base plate (**Note 6**).

9.4 Optionally, a watertight sealant of petroleum jelly is permitted for clamped molds. Apply a small amount of petroleum jelly to the entire surface of the face of the mold that will be contacting the base plate. Clamp the mold to the base plate and wipe any excess sealant from the interior of the mold and base plate.

NOTE 5—Because aerosol lubricants evaporate, molds should be checked for a sufficient coating of lubricant immediately prior to use. If an extended period of time has elapsed since treatment, retreatment may be necessary.

NOTE 6—*Watertight Molds*—The mixture of paraffin and rosin specified for sealing the joints between molds and base plates may be found difficult to remove when molds are being cleaned. Use of straight paraffin is permissible if a watertight joint is secured, but due to the low strength of paraffin it should be used only when the mold is not held to the base plate by the paraffin alone. When securing clamped molds with paraffin, an improved seal can be obtained by slightly warming the mold and base plate prior to applying the wax. Molds so treated should be allowed to return to room temperature before use.

10. Procedure

10.1 Composition of Mortars:

10.1.1 The proportions of materials for the standard mortar shall be one part of cement to 2.75 parts of graded standard sand by weight. Use a water-cement ratio of 0.485 for all portland cements and 0.460 for all air-entraining portland cements. The amount of mixing water for other than portland and air-entraining portland cements shall be such as to produce a flow of 110 ± 5 as determined in accordance with **10.3** and shall be expressed as weight percent of cement.

10.1.2 The quantities of materials to be mixed at one time in the batch of mortar for making six and nine test specimens shall be as follows:

	Number of Specimens	
	6	9
Cement, g	500	740
Sand, g	1375	2035
Water, mL		
Portland (0.485)	242	359
Air-entraining portland (0.460)	230	340
Other (to flow of 110 ± 5)

10.2 *Preparation of Mortar:*

10.2.1 Mechanically mix in accordance with the procedure given in Practice C 305.

10.3 *Determination of Flow:*

10.3.1 Determine flow in accordance with procedure given in Test Method C 1437.

10.3.2 For portland and air-entraining portland cements, merely record the flow.

10.3.3 In the case of cements other than portland or air-entraining portland cements, make trial mortars with varying percentages of water until the specified flow is obtained. Make each trial with fresh mortar.

10.3.4 Immediately following completion of the flow test, return the mortar from the flow table to the mixing bowl. Quickly scrape the bowl sides and transfer into the batch the mortar that may have collected on the side of the bowl and then remix the entire batch 15 s at medium speed. Upon completion of mixing, the mixing paddle shall be shaken to remove excess mortar into the mixing bowl.

10.3.5 When a duplicate batch is to be made immediately for additional specimens, the flow test may be omitted and the mortar allowed to stand in the mixing bowl 90 s without covering. During the last 15 s of this interval, quickly scrape the bowl sides and transfer into the batch the mortar that may have collected on the side of the bowl. Then remix for 15 s at medium speed.

10.4 *Molding Test Specimens:*

10.4.1 Complete the consolidation of the mortar in the molds either by hand tamping or by a qualified alternative method. Alternative methods include but are not limited to the use of a vibrating table or mechanical devices.

10.4.2 *Hand Tamping*—Start molding the specimens within a total elapsed time of not more than 2 min and 30 s after completion of the original mixing of the mortar batch. Place a layer of mortar about 1 in. or [25 mm] (approximately one half of the depth of the mold) in all of the cube compartments. Tamp the mortar in each cube compartment 32 times in about 10 s in 4 rounds, each round to be at right angles to the other and consisting of eight adjoining strokes over the surface of the specimen, as illustrated in Fig. 1. The tamping pressure shall be just sufficient to ensure uniform filling of the molds. The 4 rounds of tamping (32 strokes) of the mortar shall be completed in one cube before going to the next. When the tamping of the first layer in all of the cube compartments is completed, fill the compartments with the remaining mortar and then tamp as specified for the first layer. During tamping of the second layer, bring in the mortar forced out onto the tops of the molds after each round of tamping by means of the gloved fingers and

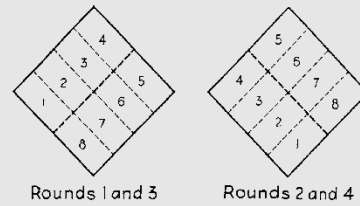


FIG. 1 Order of Tamping in Molding of Test Specimens

the tamper upon completion of each round and before starting the next round of tamping. On completion of the tamping, the tops of all cubes should extend slightly above the tops of the molds. Bring in the mortar that has been forced out onto the tops of the molds with a trowel and smooth off the cubes by drawing the flat side of the trowel (with the leading edge slightly raised) once across the top of each cube at right angles to the length of the mold. Then, for the purpose of leveling the mortar and making the mortar that protrudes above the top of the mold of more uniform thickness, draw the flat side of the trowel (with the leading edge slightly raised) lightly once along the length of the mold. Cut off the mortar to a plane surface flush with the top of the mold by drawing the straight edge of the trowel (held nearly perpendicular to the mold) with a sawing motion over the length of the mold.

10.4.3 *Alternative Methods*—Any consolidation method may be used that meets the qualification requirements of this section. The consolidation method consists of a specific procedure, equipment and consolidation device, as selected and used in a consistent manner by a specific laboratory. The mortar batch size of the method may be modified to accommodate the apparatus, provided the proportions maintain the same ratios as given in 10.1.2.

10.4.3.1 Separate qualifications are required for the following classifications:

Class A, *Non-air entrained cements*—for use in concrete, such as sold under Specifications C 150, C 595, and C 1157.

Class B, *Air-entrained cements*—for use in concrete, such as sold under Specifications C 150, C 595, and C 1157.

Class C, *Masonry, Mortar and Stucco Cements*—such as sold under Specifications C 91, C 1328, and C 1329.

10.4.3.2 An alternative method may only be used to test the cement types as given in 10.4.3.1 above, for which it has been qualified.

10.4.3.3 It can also be used for Strength Activity Index determinations for fly ash and slag, such as sold under Specifications C 618 and C 989, provided the alternative method has qualified for both Class A and Class C cements.

10.4.4 *Qualification Procedure*—Contact CCRL to purchase cement samples that have been used in the Proficiency Sample Program (PSP). Four samples (5 Kg each) of the class to be qualified will be required to complete a single qualification (See Note 7).

10.4.4.1 In one day, prepare replicate 6-cube or 9-cube batches using one of the cements and cast a minimum of 36 cubes. Complete one round of tests on each cement on different days. Store and test all specimens as prescribed in the sections below. Test all cubes at the age of 7-days.

10.4.4.2 Tabulate the compressive strength data and complete the mathematical analyses as instructed in **Annex A1**.

10.4.5 *Requalification of the Alternate Compaction Method:*

10.4.5.1 Requalification of the method shall be required if any of the following occur:

(1) Evidence that the method may not be providing data in accordance with the requirements of **Table 2**.

(2) Results that differ from the reported final average of a CCRL-PSP sample with a rating of 3 or less.

(3) Results that differ from the accepted value of a known reference sample with established strength values by more than twice the multi-laboratory 1s % values of **Table 2**.

Before starting the requalification procedure, evaluate all aspects of cube fabrication and testing process to determine if the offending result is due to some systematic error or just an occasional random event.

10.4.5.2 If the compaction equipment is replaced, significantly modified, repaired, or has been recalibrated, requalify the equipment in accordance with **10.4.4**.

NOTE 7—It is recommended that a large homogenous sample of cement be prepared at the time of qualification for use as a secondary standard and for method evaluation. Frequent testing of this sample will give early warning of any changes in the performance of the apparatus.

10.5 *Storage of Test Specimens*—Immediately upon completion of molding, place the test specimens in the moist closet or moist room. Keep all test specimens, immediately after molding, in the molds on the base plates in the moist closet or moist room from 20 to 72 h with their upper surfaces exposed to the moist air but protected from dripping water. If

the specimens are removed from the molds before 24 h, keep them on the shelves of the moist closet or moist room until they are 24-h old, and then immerse the specimens, except those for the 24-h test, in saturated lime water in storage tanks constructed of noncorroding materials. Keep the storage water clean by changing as required.

10.6 *Determination of Compressive Strength:*

10.6.1 Test the specimens immediately after their removal from the moist closet in the case of 24-h specimens, and from storage water in the case of all other specimens. All test specimens for a given test age shall be broken within the permissible tolerance prescribed as follows:

Test Age	Permissible Tolerance
24 h	±½ h
3 days	±1 h
7 days	±3 h
28 days	±12 h

If more than one specimen at a time is removed from the moist closet for the 24-h tests, keep these specimens covered with a damp cloth until time of testing. If more than one specimen at a time is removed from the storage water for testing, keep these specimens in water at a temperature of 73.5 ± 3.5 °F or [23 ± 2 °C] and of sufficient depth to completely immerse each specimen until time of testing.

10.6.2 Wipe each specimen to a surface-dry condition, and remove any loose sand grains or incrustations from the faces that will be in contact with the bearing blocks of the testing machine. Check these faces by applying a straightedge (**Note 8**). If there is appreciable curvature, grind the face or faces to plane surfaces or discard the specimen. A periodic check of the cross-sectional area of the specimens should be made.

NOTE 8—*Specimen Faces*—Results much lower than the true strength will be obtained by loading faces of the cube specimen that are not truly plane surfaces. Therefore, it is essential that specimen molds be kept scrupulously clean, as otherwise, large irregularities in the surfaces will occur. Instruments for cleaning molds should always be softer than the metal in the molds to prevent wear. In case grinding specimen faces is necessary, it can be accomplished best by rubbing the specimen on a sheet of fine emery paper or cloth glued to a plane surface, using only a moderate pressure. Such grinding is tedious for more than a few thousandths of an inch (hundredths of a millimetre); where more than this is found necessary, it is recommended that the specimen be discarded.

10.6.3 Apply the load to specimen faces that were in contact with the true plane surfaces of the mold. Carefully place the specimen in the testing machine below the center of the upper bearing block. Prior to the testing of each cube, it shall be ascertained that the spherically seated block is free to tilt. Use no cushioning or bedding materials. Bring the spherically seated block into uniform contact with the surface of the specimen. Apply the load rate at a relative rate of movement between the upper and lower platens corresponding to a loading on the specimen with the range of 200 to 400 lbs/s [900 to 1800 N/s]. Obtain this designated rate of movement of the platen during the first half of the anticipated maximum load and make no adjustment in the rate of movement of the platen in the latter half of the loading especially while the cube is yielding before failure.

NOTE 9—It is advisable to apply only a very light coating of a good quality, light mineral oil to the spherical seat of the upper platen.

TABLE 2 Precision

	Test Age, Days	Coefficient of Variation 1s % ^A	Acceptable Range of Test Results d2s % ^A
Portland Cements			
Constant water-cement ratio:			
Single-lab	3	4.0	11.3
	<u>7</u>	<u>3.6</u>	<u>10.2</u>
	Av	3.8	10.7
Multi-lab	3	6.8	19.2
	<u>7</u>	<u>6.4</u>	<u>18.1</u>
	Av	6.6	18.7
Blended Cements			
Constant flow mortar:			
Single-lab	3	4.0	11.3
	7	3.8	10.7
	<u>28</u>	<u>3.4</u>	<u>9.6</u>
	Av	3.8	10.7
Multi-lab	3	7.8	22.1
	7	7.6	21.5
	<u>28</u>	<u>7.4</u>	<u>20.9</u>
	Av	7.6	21.5
Masonry Cements			
Constant flow mortar:			
Single-lab	7	7.9	22.3
	<u>28</u>	<u>7.5</u>	<u>21.2</u>
	Av	7.7	21.8
Multi-lab	7	11.8	33.4
	<u>28</u>	<u>12.0</u>	<u>33.9</u>
	Av	11.9	33.7

^A These numbers represent, respectively, the (1s %) and (d2s %) limits as described in Practice **C 670**.

11. Calculation

11.1 Record the total maximum load indicated by the testing machine, and calculate the compressive strength as follows:

$$f_m = P/A \quad (1)$$

where:

f_m = compressive strength in psi or [MPa],
 P = total maximum load in lbf or [N], and
 A = area of loaded surface in² or [mm²].

Either 2-in. or [50-mm] cube specimens may be used for the determination of compressive strength, whether inch-pound or SI units are used. However, consistent units for load and area must be used to calculate strength in the units selected. If the cross-sectional area of a specimen varies more than 1.5 % from the nominal, use the actual area for the calculation of the compressive strength. The compressive strength of all acceptable test specimens (see Section 12) made from the same sample and tested at the same period shall be averaged and reported to the nearest 10 psi [0.1 MPa].

12. Report

12.1 Report the flow to the nearest 1 % and the water used to the nearest 0.1 %. Average compressive strength of all specimens from the same sample shall be reported to the nearest 10 psi [0.1 MPa].

13. Faulty Specimens and Retests

13.1 In determining the compressive strength, do not consider specimens that are manifestly faulty.

13.2 The maximum permissible range between specimens from the same mortar batch, at the same test age is 8.7 % of the average when three cubes represent a test age and 7.6 % when two cubes represent a test age (Note 10).

NOTE 10—The probability of exceeding these ranges is 1 in 100 when the within-batch coefficient of variation is 2.1 %. The 2.1 % is an average for laboratories participating in the portland cement and masonry cement

reference sample programs of the Cement and Concrete Reference Laboratory.

13.3 If the range of three specimens exceeds the maximum in 13.2, discard the result which differs most from the average and check the range of the remaining two specimens. Make a retest of the sample if less than two specimens remain after discarding faulty specimens or discarding tests that fail to comply with the maximum permissible range of two specimens.

NOTE 11—Reliable strength results depend upon careful observance of all of the specified requirements and procedures. Erratic results at a given test period indicate that some of the requirements and procedures have not been carefully observed; for example, those covering the testing of the specimens as prescribed in 10.6.2 and 10.6.3. Improper centering of specimens resulting in oblique fractures or lateral movement of one of the heads of the testing machine during loading will cause lower strength results.

14. Precision and Bias

14.1 *Precision*—The precision statements for this test method are listed in Table 2 and are based on results from the Cement and Concrete Reference Laboratory Reference Sample Program. They are developed from data where a test result is the average of compressive strength tests of three cubes molded from a single batch of mortar and tested at the same age. A significant change in precision will not be noted when a test result is the average of two cubes rather than three.

14.2 These precision statements are applicable to mortars made with cements mixed, and tested at the ages as noted. The appropriate limits are likely, somewhat larger for tests at the younger ages and slightly smaller for tests at older ages.

14.3 *Bias*—The procedure in this test method has no bias because the value of compressive strength is defined in terms of the test method.

15. Keywords

15.1 compressive strength; hydraulic cement mortar; hydraulic cement strength; mortar strength; strength

ANNEX

(Mandatory Information)

A1. ANALYSES OF TEST RESULTS FOR QUALIFICATION OF ALTERNATE COMPACTION METHODS

A1.1 *Calculation of Average Within-Batch Standard Deviation and Elimination of Outliers*—Tabulate the results for each cement sample (or round) in separate spreadsheets. In the spreadsheet, list results of each batch in columns and complete the calculations as shown in Table A1.1.

A1.1.1 Eliminate any outliers from the test data and repeat the calculations until none of the values lie outside the normal range.

A1.1.2 Tabulate the cube strengths with all the outliers eliminated and complete the calculations as shown in Table A1.2.

A1.2 *Summary of Results*—Compile the results of the four

rounds and complete the calculations as shown in Table A1.3. The number of outliers shall not exceed 5 % of the total number of tests when rounded to the nearest whole number (for example, 4 rounds × 4 batches × 9 cubes = 144 tests × (5%/100) = 7.2 or 7).

A1.3 *Precision Qualification*—Calculate the relative within batch error (RWBE %) as shown in Table A1.3. This value must be less than 2.1 % to comply with the limit established in Note 10 of this specification.

A1.4 *Bias Qualification*—The test results compiled in Table A1.3 are evaluated against three limits to demonstrate an acceptable qualification. The limits have been established

TABLE A1.1 Example Using 9 Cube Batch

Round – 2 CCRL Sample # 140 Cast Date – 00/00/00		Industry Average Strength, $X_i = 32.923$			
7-Day Strengths, MPa					
	A	B	C	D	E
Batch No.	1	2	3	4	
Cube 1	33.0	34.3	34.4	33.2	
Cube 2	33.9	32.5	34.0	34.0	
Cube 3	33.4	34.0	34.1	33.8	
Cube 4	33.1	33.8	34.0	33.8	
Cube 5	33.0	33.4	34.2	34.0	
Cube 6	32.8	33.7	31.8	33.1	
Cube 7	33.6	32.6	33.9	32.8	
Cube 8	31.5	32.1	33.0	33.3	
Cube 9	33.6	34.3	33.4	34.4	
Average, X_b	33.10	33.42	33.65	33.60	
SD_b	0.70	0.82	0.81	0.52	
N_b	9	9	9	9	
$(N_b-1)SD_b^2$	3.936	5.432	5.265	2.145	
			N_r	36	
			X_r	33.44	
			SD_r	0.692	
			MND	1.703	
Normal Range					
Max	34.81	35.12	35.35	35.30	
Min	31.40	31.71	32.95	31.89	
Outliers	None	None	Cube 6	None	

where:

- X_i = industry average strength (CCRL),
- X_b = average of tests values in a single batch,
- SD_b = standard deviation of a single batch = $\sqrt{\frac{\sum_{Cube} (X - X_b)^2}{N_b - 1}}$
- N_b = number of tests per batch,
- $(N_b-1)SD_b^2$ = an intermediate calculation,
- N_r = total number of tests per round,
- X_r = grand average of tests values obtained per round, MPa,
- SD_r = mean standard deviation of round = $\sqrt{\frac{\sum_{Batch} [(N_b - 1)SD_b^2]}{N_r - 1}}$
- MND** = maximum normal deviation: use Excel® function “=norminv(1-0.25/N_r,0,SD_r)” or equivalent, or use statistical tables to find the inverse integrated normal distribution for an integral value of (1-0.25/n_r) in a normal distribution with $\sigma = SD_r$.

Normal Range:

- Maximum = ($X_b + MND$).
- Minimum = ($X_b - MND$).
- Outlier = any test value falling outside the calculated normal range.

statistically from analyses of historical CCRL data and are given in **Table A1.4**.

A1.5 Rationale for the Limits Given in A1.4:

A1.5.1 The multi-laboratory precision (1s%) for the average of *n* batches is given by:

$$s\%_{ML,n} = \sqrt{s\%_{ML}^2 - \left(1 - \frac{1}{n}\right)s\%_{SO}^2}$$

A1.5.2 The limit for deviation of the individual rounds (no failures being allowed when 4 rounds are performed) is 1.2 $s\%_{ML,n}$, as used in Test Methods **C 114**.

A1.5.3 The multi-laboratory precision (1s%) for the mean of 4 rounds is 0.5 $s\%_{ML,n}$.

TABLE A1.2 Test Data After the Elimination of Outliers (Example Using 9 Cube Batch)

Round – 2 CCRL Sample # 140 Cast Date – 00/00/00		Industry Average Strength, $X_i = 32.923$			
Raw Cube Data:					
7-Day Strengths, MPa					
	A	B	C	D	E
Batch No.	1	2	3	4	
Cube 1	33.0	34.3	34.4	33.2	
Cube 2	33.9	32.5	34.0	34.0	
Cube 3	33.4	34.0	34.1	33.8	
Cube 4	33.1	33.8	34.0	33.8	
Cube 5	33.0	33.4	34.2	34.0	
Cube 6	32.8	33.7	33.4	34.2	
Cube 7	33.6	32.6	33.9	32.8	
Cube 8	33.6	32.1	33.0	33.3	
Cube 9	33.6	34.3	33.4	34.4	
Average, X_{bv}	33.29	33.42	33.89	33.60	
SD_{bv}	0.39	0.82	0.46	0.52	
N_{bv}	8	9	8	9	
$(N_{bv}-1)SD_{bv}^2$	1.092	5.348	1.462	2.159	
			N_{rv}	34	
			X_{rv}	33.55	
			X_i	32.92	
			SD_{rv}	0.55	
			E_r , MPa	0.63	
			RE_r , %	1.91	

where:

- X_{bv} = average of valid test values obtained per batch, MPa,
- X_i = industry average strength (CCRL), MPa,
- SD_{bv} = $\sqrt{\frac{\sum_{ValidCube} (X - X_{bv})^2}{N_{bv} - 1}}$
- N_{bv} = number of valid tests per batch,
- $(N_{bv}-1)SD_{bv}^2$ = an intermediate calculation,
- N_{rv} = total number of valid tests of the round,
- X_{rv} = grand average of valid tests for the round, MPa,
- SD_{rv} = mean standard deviation of the round = $\sqrt{\frac{\sum_{Batch} [(N_{bv} - 1)SD_{bv}^2]}{N_{rv} - 1}}$
- E_r = error = ($X_i - X_{rv}$), MPa, and
- RE_r = relative error for the round, % = 100(E_r/X_{rv}).

A1.5.4 The limit for deviation of the mean of 4 rounds (95 % confidence) is 1.96 times this, or 0.98 $s\%_{ML,n}$.

A1.5.5 The values for $s\%_{ML}$ and $s\%_{SO}$ for Cement Classes A and C (non-air-entrained cements for concrete and cements for mortar respectively) are the 7-day values in the current precision statement of Test Method C 109/C 109M. There appears to be no data for Cement Class B (air-entrained cements for concrete). Working on the assumption that the value of this quantity is related to the air content, the values adopted for Class B are the mean of the A- and C-values.

A1.5.6 For the applicable conditions, the equations above give the following:

Derivation of Limits for **Table A1.4**

Cement Class	A	B	C	A	B	C
Batches per Round (n)	6	6	6	4	4	4
Single Operator s% (single batch)	3.6	5.75	7.9	3.6	5.75	7.9
Multi-Laboratory s% (single batch)	6.4	9.1	11.8	6.4	9.1	11.8
Multi-Laboratory s% (n batches)	5.5	7.4	9.3	5.6	7.6	9.6
Limit for deviation of a single round %	6.6	8.9	11.2	6.7	9.1	11.5
Limit for deviation of mean of four rounds %	5.4	7.3	9.2	5.5	7.5	9.4

 **C 109/C 109M – 08**

TABLE A1.3 Summary of Results

A	B CCRL #	C Day	D X_i , MPa	E X_{rv} , MPa	F RE_r , %	G N_{rv}	H SD_{rv}	I $(N_r-1)SD_r^2$
Round 1	139	1	28.47	30.42	6.85	36	0.97	32.93
Round 2	140	2	32.92	33.55	1.91	34	0.55	9.98
Round 3	141	3	32.64	33.14	1.53	34	0.47	7.29
Round 4	142	4	32.24	33.01	2.39	36	0.51	9.10
							Max, RE_r , %	6.85
							Mean, RE_r , %	3.17
							GMWBE, MPa	0.65
							RWBE, %	2.01
							Max RWBE, % ^A	2.1
							Precision Test	Pass

where:

- X_r = industry average strength, MPa,
- X_{rv} = grand mean value of the valid tests of a round,
- RE_{rv} % = relative error = $100(X_i - X_{rv})$,
- N_{rv} = total number of valid tests of the round,
- SD_{rv} = mean standard deviation of a round =

$$\sqrt{\frac{\sum_{Batch} [(N_{bv} - 1)SD_{rv}^2]}{N_{rv} - 1}}$$

- $(N_r-1)SD_r^2$ = intermediate calculation,
- X_g = grand mean value of all valid tests (4 rounds),
- N_g = total number of valid tests in 4 rounds,
- GMWBE = grand mean within-batch error, MPa =

$$\sqrt{\frac{\sum_{Round} [(N_{rv} - 1)SD_{rv}^2]}{N_g - 1}}$$

- RWBE = relative within batch error, % = $100(\text{GMWBE} / X_g)$, and
- Max RWBE = maximum allowed RWBE = 2.10 % (See Note 10).

^A See Note 9.

TABLE A1.4 Bias Qualification Requirements

	6 Cube Batches (Min 6 Batches per Round)			9 Cube Batches (Min 4 Batches per Round)		
	A	B	C	A	B	C
Cement Classification (see 10.4.3.1)						
Max allowable relative error any 4 or 6 batches, MAREr %	6.6	8.9	11.2	6.7	9.1	11.5
Max allowable relative error mean of 4 rounds of 4 or 6 batches <5 % failures, GRE%	5.4	7.3	9.2	5.5	7.5	9.4
Minimum allowable confidence limit, % MACL %	95	95	95	95	95	95



C 109/C 109M – 08

**TABLE A1.5 Bias Tests
(Example Using 9-Cube Batches, Class A Cement)**

MREr %, the maximum relative error value of the four rounds	6.85
MAREr %, max allowable MREr from Table A1.4	6.7
	FAILS
GRE %, the average REr % of the four rounds	3.13
Maximum limit of MGREg % from Table A1.4	5.5
	PASS
Bias confidence limit, CL %	96.99
Minimum allowable confidence limit, MACL % (from Table A1.4)	95
	PASS

The above results indicate the data fails to show compliance.

where:

- MREr*, % = the maximum relative error, % obtained for any round (from values in column F, Table A1.3),
- MAREr*, % = the maximum allowable relative error, % of any Round (Table A1.4),
- GRE*, % = the grand average of the REr, % values of the four rounds,
- MAREg*, % = maximum allowed GRE, % value (average of column F, Table A1.3), and
- CL*, % = bias confidence limit, %, the confidence with which it can be stated that the error of the mean of 4 rounds is non-zero. Calculate this by use of Excel® function “=ttest(<range of industry means>,<range of values obtained>,1,1)” or equivalent, or use statistical tables to find the confidence in a one-tailed, paired-value t-test on the set of round errors.

NOTE—The qualification method fails for bias if (1) the MREr exceeds the MAREr, % limit; or if (2) the GRE, % exceeds the MGREg limit and the CL, % exceeds 95 %.

SUMMARY OF CHANGES

Committee C01 has identified the location of selected changes to this test method since the last issue, C 109/C 109M – 07^{e1}, that may impact the use of this test method. (Approved December 1, 2008).

(1) Revised 5.1.

(2) Revised 9.3, added new 9.4, and revised Note 6.

Committee C01 has identified the location of selected changes to this test method since the last issue, C 109/C 109M – 05, that may impact the use of this test method. (Approved August 15, 2007).

(1) Revised 5.9.2.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Normativa Standard ASTM C188



Designation: C 188 – 95 (Reapproved 2003)

American Association State
Highway and Transportation Officials Standard
AASHTO No.: T133

Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement¹

This standard is issued under the fixed designation C 188; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the density of hydraulic cement. Its particular usefulness is in connection with the design and control of concrete mixtures.

1.2 The density of hydraulic cement is defined as the mass of a unit volume of the solids.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

C 114 Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement²

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials³

3. Apparatus

3.1 *Le Chatelier flask*—The standard flask, which is circular in cross section, with shape and dimensions conforming essentially to Fig. 1 (Note 1). The requirements in regard to tolerance, inscription and length, spacing, and uniformity of graduation will be rigidly observed. There shall be a space of at least 10 mm between the highest graduation mark and the lowest point of grinding for the glass stopper.

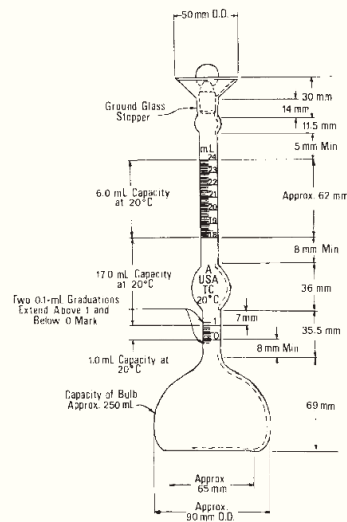
3.1.1 The material of construction shall be excellent quality glass, transparent and free of striae. The glass shall be chemically resistant and shall have small thermal hysteresis. The flasks shall be thoroughly annealed before being graduated. They shall be of sufficient thickness to ensure reasonable resistance to breakage.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C01 on Cement, and is the direct responsibility of Subcommittee C01.25 on Fineness.

Current edition approved June 10, 2003. Published August 2003. Originally approved in 1944. Last previous edition approved in 1995 as C 188 – 95.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.



NOTE—Variations of a few millimetres in such dimensions as total height of flask, diameter of base, and so forth, are to be expected and will not be considered sufficient cause for rejection. The dimensions of the flask shown in Fig. 1 apply only to new flasks and not to flasks in use which meet the other requirements of this test method.

FIG. 1 Le Chatelier Flask for Density Test

3.1.2 The neck shall be graduated from 0 to 1 mL and from 18 to 24 mL in 0.1-mL graduations. The error of any indicated capacity shall not be greater than 0.05 mL.

3.1.3 Each flask shall bear a permanent identification number and the stopper, if not interchangeably ground, shall bear the same number. Interchangeable ground-glass parts shall be marked on both members with the standard-taper symbol, followed by the size designation. The standard temperature shall be indicated, and the unit of capacity shall be shown by the letters "mL" placed above the highest graduation mark.

3.2 Kerosine, free of water, or naphtha, having a density greater than 0.73 g/mL at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ shall be used in the density determination.

3.3 The use of alternative equipment or methods for determining density is permitted provided that a single operator can obtain results within $\pm 0.03\text{ Mg/m}^3$ of the results obtained using the flask method.

NOTE 1—The design is intended to ensure complete drainage of the flask when emptied, and stability of standing on a level surface, as well as accuracy and precision of reading.

4. Procedure

4.1 Determine the density of cement on the material as received, unless otherwise specified. If the density determination on a loss-free sample is required, first ignite the sample as described in the test for loss on ignition in section 16.1 on Portland Cement of Test Methods C 114.

4.2 Fill the flask (Note 2) with either of the liquids specified in 3.2 to a point on the stem between the 0 and the 1-mL mark. Dry the inside of the flask above the level of the liquid, if necessary, after pouring. Record the first reading after the flask has been immersed in the water bath (Note 3) in accordance with 4.4.

NOTE 2—It is advisable to use a rubber pad on the table top when filling or rolling the flask.

NOTE 3—Before the cement has been added to the flask, a loose-fitting, lead-ring weight around the stem of the flask will be helpful in holding the flask in an upright position in the water bath, or the flask may be held in the water bath by a buret clamp.

4.3 Introduce a quantity of cement, weighed to the nearest 0.05 g, (about 64 g for portland cement) in small increments at the same temperature as the liquid (Note 2). Take care to avoid splashing and see that the cement does not adhere to the inside of the flask above the liquid. A vibrating apparatus may be used to accelerate the introduction of the cement into the flask and to prevent the cement from sticking to the neck. After all the cement has been introduced, place the stopper in the flask and roll the flask in an inclined position (Note 2), or gently whirl it in a horizontal circle, so as to free the cement from air until no further air bubbles rise to the surface of the liquid. If a proper amount of cement has been added, the level of the liquid will be in its final position at some point of the upper series of

graduations. Take the final reading after the flask has been immersed in the water bath in accordance with 4.4.

4.4 Immerse the flask in a constant-temperature water bath for sufficient periods of time in order to avoid flask temperature variations greater than 0.2°C between the initial and the final readings.

5. Calculation

5.1 The difference between the first and the final readings represents the volume of liquid displaced by the mass of cement used in the test.

5.2 Calculate the cement density, ρ , as follows:

$$\rho(\text{Mg/m}^3) = \rho(\text{g/cm}^3) = \text{mass of cement, g/displaced volume, cm}^3$$

NOTE 4—The displaced volume in millilitres is numerically equal to the displaced volume in cubic centimetres.

NOTE 5—Density in megagrams per cubic metre (Mg/m^3) is numerically equal to grams per cubic centimetre (g/cm^3). Calculate the cement density, ρ , to three decimal places and round to the nearest 0.01 Mg/m^3 .

NOTE 6—In connection with proportioning and control of concrete mixtures, density may be more usefully expressed as specific gravity, the latter being a dimensionless number. Calculate the specific gravity as follows: $\text{Sp gr} = \text{cement density/water density at } 4^\circ\text{C}$ (at 4°C the density of water is $1\text{ Mg/m}^3(1\text{g/cm}^3)$).

6. Precision and Bias

6.1 The single-operator standard deviation for portland cements has been found to be 0.012.⁴ Therefore, the results of two properly conducted tests by the same operator on the same material should not differ by more than 0.03.

6.2 The multilaboratory standard deviation for portland cements has been found to be 0.037.⁴ Therefore, the results of two properly conducted tests from two different laboratories on samples of the same cement should not differ by more than 0.10.⁴

6.3 Since there is no accepted reference material suitable for determining any bias that might be associated with this test method, no statement on bias is being made.

7. Keywords

7.1 density; hydraulic cement; specific gravity

⁴ These numbers represent the 1s and d2s limits described in Practice C 670.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

INFORME DE TESIS - FHAP

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	17%
2	www.uady.mx Fuente de Internet	<1%
3	doku.pub Fuente de Internet	<1%
4	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	<1%
5	G. Velazco, J. M. Almanza, D. A. Cortés, J. C. Escobedo, J. I. Escalante-Garcia. "Effect of the strontium aluminate and hemihydrate contents on the properties of a calcium sulphoaluminate based cement", <i>Materiales de Construcción</i> , 2014 Publicación	<1%
6	Submitted to Bishop Burton College Trabajo del estudiante	<1%
7	scielo.isciii.es Fuente de Internet	<1%

8	ainfo.cnptia.embrapa.br Fuente de Internet	<1 %
9	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
10	renatiqa.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Libre Seccional Pereira Trabajo del estudiante	<1 %
13	congreso.smeq.org.mx Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unican.es Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	<1 %
17	oa.upm.es Fuente de Internet	<1 %
18	proyectosytesis.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
19	www.dspace.uce.edu.ec	

Fuente de Internet

<1 %

20

Submitted to Universidad Ricardo Palma

Trabajo del estudiante

<1 %

21

backend.orbit.dtu.dk

Fuente de Internet

<1 %

22

civilejournal.org

Fuente de Internet

<1 %

23

eprints.ucm.es

Fuente de Internet

<1 %

24

press.religacion.com

Fuente de Internet

<1 %

25

www.cec.org

Fuente de Internet

<1 %

26

www.semanticscholar.org

Fuente de Internet

<1 %

27

10316b55-bcaf-49d1-aa23-a9959305f101.filesusr.com

Fuente de Internet

<1 %

28

Harrison de la Rosa Ramírez. "Desarrollo de formulaciones de ácido poliláctico (PLA) basadas en la incorporación de derivados de la colofonia", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

<1 %

29	Sugenith Margarita Arteaga Castillo. "Cultivos para el cambio climático: selección y caracterización de variedades de judía (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y <i>Phaseolus lunatus</i> tolerantes a la sequía y salinidad", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	<1 %
30	acspublisher.com Fuente de Internet	<1 %
31	de.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
32	neetescuela.org Fuente de Internet	<1 %
33	www.camjol.info Fuente de Internet	<1 %
34	www.economia-montevideo.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
35	www.mediambient.gencat.net Fuente de Internet	<1 %
36	www.scielo.org.co Fuente de Internet	<1 %
37	www.wijkvrienden.be Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo