



Optimización de concreto $f'_c = 280$ kg/cm² incorporando puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto

Optimization of concrete $f'_c = 280$ kg/cm² incorporating cob pozzolana and eucalyptus ash

DOI: <https://doi.org/10.21703/0718-2813.2024.36.3008>

Fecha de entrega: 31 de enero 2024
Fecha de aceptación: 2 de octubre 2024

Iván Julio Campos

Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Perú, camivanj09@ucvvirtual.edu.pe

En la ciudad de Huancayo, se realizó la modificación de las características del concreto hidráulico mediante la incorporación de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto. Para dicho propósito, se aplicó una metodología experimental. Los resultados obtenidos revelan que la inclusión de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto ha generado mejoras significativas en las propiedades del concreto hidráulico. Se observó un incremento estadísticamente significativo del 2.86% en la trabajabilidad, facilitando así una colocación más eficiente. Asimismo, la permeabilidad experimentó una disminución del 13.87%, factor crucial para la durabilidad del concreto en entornos húmedos, mientras que la resistencia a la compresión se elevó en un 11.86%, señalando una mayor capacidad para soportar cargas. En resumen, estos hallazgos subrayan la efectividad de la combinación de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto como aditivos beneficiosos. La inclusión de dichos aditivos demostró mejorar las propiedades del concreto hidráulico en Huancayo al aumentar la trabajabilidad, disminuir la permeabilidad y elevar la resistencia.

Palabras clave: ceniza, puzolana, concreto, eucalipto, mazorca

In the city of Huancayo, the modification of the characteristics of hydraulic concrete was carried out by incorporating cob pozzolana and eucalyptus ash. For this purpose, an experimental methodology was applied. The results obtained reveal that the inclusion of cob pozzolana and eucalyptus ash has generated significant improvements in the properties of hydraulic concrete. A statistically significant increase of 2.86% in workability was observed, thus facilitating more efficient placement. Likewise, permeability experienced a decrease of 13.87%, a crucial factor for the durability of concrete in humid environments, while compressive strength increased by 11.86%, indicating a greater capacity to withstand loads. In summary, these findings underline the effectiveness of the combination of cob pozzolana and eucalyptus ash as beneficial additives. The inclusion of these additives proved to improve the properties of hydraulic concrete in Huancayo by increasing workability, decreasing permeability and increasing resistance.

Keywords: ash, pozzolana, concrete, eucalyptus, cob

Introducción

Las estructuras hidráulicas tienen como objetivo la captación, extracción, almacenamiento, conducción, control y aprovechamiento del recurso hídrico, considerado escaso. En la edificación de dichas estructuras, se siguen lineamientos y parámetros con criterios hidrológicos, conforme a los cuales se diseña para maximizar la eficiencia del agua. De igual modo el concreto representa un componente utilizado en la construcción de estas estructuras, por lo que las investigaciones realizadas para

acelerar su aplicación cobraron gran relevancia. Gracias a ello, se abrió paso a la incorporación de aditivos y otros productos en la mezcla de concreto, siendo factores cruciales para lograr una mezcla duradera: la selección de agregados, el curado del concreto, la colocación del concreto y el diseño de la nueva mezcla. Entre estos factores, el curado del concreto se erigió como un elemento determinante, ya que cualquier descuido en este aspecto podía resultar en un concreto deficiente.



A nivel global, se requería la utilización de una composición de concreto para las estructuras hidráulicas, la cual debía caracterizarse por presentar una reducida entrada de fluido o capacidad para retener líquidos sin posibilidad de drenaje. En otras palabras, estas estructuras debían exhibir propiedades de baja permeabilidad y baja estanqueidad. Numerosas formulaciones de concreto enfrentaban dificultades en su interacción con el recurso hídrico, mostrando un comportamiento similar a un material absorbente. El filtrado de agua ocurría a través de los poros, manifestándose cuando dichos poros se encontraban secos o saturados. Con ello, la velocidad de absorción disminuía a medida que los niveles de peso del concreto aumentaban con la creciente saturación. Este problema se presentaba de manera recurrente en la infraestructura hidráulica.

En Perú, particularmente en zonas con climas áridos, como en proyectos desarrollados a una altitud de 4000 msnm caracterizados por su versatilidad, los concretos masivos utilizados de manera tradicional cumplían con exigentes requisitos, lo que implicaba una considerable duración en su construcción debido a la complejidad del proyecto. Estos concretos, generalmente de alta resistencia, se formulaban cuidadosamente considerando una proporción óptima entre agua y cemento. Por otro lado, un factor que impactaba en la durabilidad del concreto era la generación de etringita a partir de sulfatos y aluminatos como resultado del ataque por sulfatos (Martínez y Rojas, 2021). Un desafío adicional consistía en la falta de mantenimiento adecuado de las estructuras hidráulicas en el país¹. En muchas ocasiones, debido a limitaciones económicas o técnicas, las estructuras no recibían el mantenimiento necesario para prevenir o reparar los daños ocasionados por la degradación del concreto. Asimismo, en la ciudad de Huancayo, se requería un concreto hidráulico con propiedades físicas y mecánicas que aseguraran su vida útil y permeabilidad, considerando que Huancayo experimenta una elevada precipitación pluvial.

Planteamiento del problema

Si se formula la exposición del problema general, ¿cuál fue el impacto de la inclusión de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto en las propiedades del concreto

hidráulico en la localidad de Huancayo?. Los problemas específicos se desglosan de la siguiente manera: en primer lugar, ¿cómo incidió la adición de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto en la facilidad de manipulación del concreto hidráulico?. En segundo lugar, ¿cómo influyó la incorporación de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto en la capacidad de permeabilidad del concreto hidráulico?. Y en tercer lugar, ¿cómo se manifestó el efecto de la adición de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto en la resistencia del concreto hidráulico?.

De igual manera, se llevó a cabo la evaluación de las propiedades del concreto hidráulico al incorporar puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto como objetivo general. Los objetivos específicos se definieron de la siguiente manera: en primer lugar, se buscó elevar la facilidad de manipulación del concreto hidráulico mediante la adición de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto. En segundo lugar, se persiguió reducir la capacidad de permeabilidad del concreto hidráulico mediante la adición de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto. Y en tercer lugar, se procuró aumentar la resistencia del concreto hidráulico mediante la adición de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto. En este contexto, se formuló la hipótesis general que afirmaba que la incorporación de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto mejoró las propiedades del concreto hidráulico. Las hipótesis específicas postularon lo siguiente: primero, que la inclusión de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto incrementó de manera significativa la facilidad de manipulación del concreto hidráulico. Segundo, que la incorporación de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto redujo de manera significativa la capacidad de permeabilidad del concreto hidráulico; y tercero, que la adición de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto aumentó de manera significativa la resistencia del concreto hidráulico.

Metodología

La composición de la población consistió en las muestras de concreto hidráulico en estado fresco y endurecido. La dimensión de la muestra constó de 160 briquetas. Se aplicó un muestreo probabilístico que abarcó briquetas en condición óptima, excluyendo aquellas que no cumplían con los requisitos establecidos por la Norma Técnica de Edificaciones del Perú.

¹ucv.edu.pe/noticias/importancia-de-las-obras-hidraulicas-en-el-callao



En la ejecución de los experimentos, se llevó a cabo el siguiente procedimiento: en primer lugar, se elaboraron los diseños del concreto hidráulico fresco, tanto patrón como experimental. En segundo lugar, se realizó la medición del *slump* o trabajabilidad. En tercer lugar, se procedió a la construcción de las briquetas. En cuarto lugar, se llevó a cabo el proceso de curado de las briquetas a los 7, 14 y 28 días. En quinto lugar, se efectuó la medición de la permeabilidad. Finalmente, en sexto lugar, se realizó la medición de la resistencia a la compresión.

Método de análisis de datos

Se utilizó el programa estadístico SPSS 26, junto con el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba Post Hoc de Tukey. Asimismo, para llevar a cabo el análisis, se aplicó el método estadístico, haciendo uso de la estadística descriptiva e inferencial para la prueba de hipótesis.

Resultados

La medición de la trabajabilidad se muestra en la Figura 1. En respuesta al primer objetivo específico, que consistía en mejorar la facilidad de manipulación del concreto hidráulico mediante la adición de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto, la Tabla 1 presenta los resultados de trabajabilidad.



Figura 1: Medición de trabajabilidad

Según la información de la Tabla 1, se evidencia que el concreto patrón exhibió una medida promedio de trabajabilidad de 7.00 cm. La muestra que presentó la mayor

Tabla 1: Resultados de trabajabilidad (DE: desviación estándar)

Muestra	Trabajabilidad, cm			
	Mínimo	Máximo	Media	DE
Patrón (0% de puzolana+0% ceniza)	6.80	7.20	7.00	0.20
0% de puzolana + 0.5% ceniza	6.90	7.30	7.07	0.21
0% de puzolana + 1.0% ceniza	6.70	7.10	6.87	0.21
0% de puzolana + 1.5% ceniza	6.00	6.70	6.27	0.38
0.5% de puzolana + 0% ceniza	6.90	7.40	7.20	0.26
0.5% de puzolana + 0.5% ceniza	7.00	7.20	7.07	0.12
0.5% Puzolana + 1.0% Ceniza	6.80	7.10	6.93	0.15
0.5% Puzolana + 1.5% Ceniza	7.00	7.10	7.03	0.06
1.0% Puzolana + 0.0% Ceniza	6.70	7.10	6.93	0.21
1.0% Puzolana + 0.5% Ceniza	6.80	7.00	6.90	0.10
1.0% Puzolana + 1.0% Ceniza	6.40	6.90	6.70	0.26
1.0% Puzolana + 1.5% Ceniza	6.50	6.80	6.67	0.15
1.5% Puzolana + 0.0% Ceniza	6.50	7.00	6.70	0.26
1.5% Puzolana + 0.5% Ceniza	6.80	7.20	7.00	0.20
1.5% Puzolana + 1.0% Ceniza	6.30	6.80	6.57	0.25
1.5% Puzolana + 1.5% Ceniza	6.50	7.00	6.77	0.25

trabajabilidad media fue la que contenía 0.5% de puzolana y 0% de ceniza, con un promedio de 7.20 cm. Esto sugiere que la incorporación de ceniza en proporciones bajas tiene un efecto positivo leve en la trabajabilidad del concreto. Por otro lado, la menor trabajabilidad media se registró en la muestra con 0% de puzolana y 1.5% de ceniza, alcanzando 6.27 cm, indicando que mayores proporciones de ceniza podrían disminuir la trabajabilidad.

La Figura 2 exhibe el diagrama de cajas de trabajabilidad, mostrando que la mayoría de las muestras presentaron una mediana cercana a los 7 cm, con algunas excepciones.



Se destaca que la muestra de control mostró una de las medianas más elevadas y una variabilidad reducida, señalando una trabajabilidad constante en las mezclas sin aditivos. En contraste, las mezclas con 0% de puzolana y 1.5% de ceniza exhibieron la mediana más baja y una variabilidad considerable, indicando que estas proporciones podrían tener un impacto negativo en la trabajabilidad del concreto. Además, se observó la presencia de valores atípicos en algunas mezclas, indicando casos individuales con niveles significativamente diferentes de trabajabilidad.

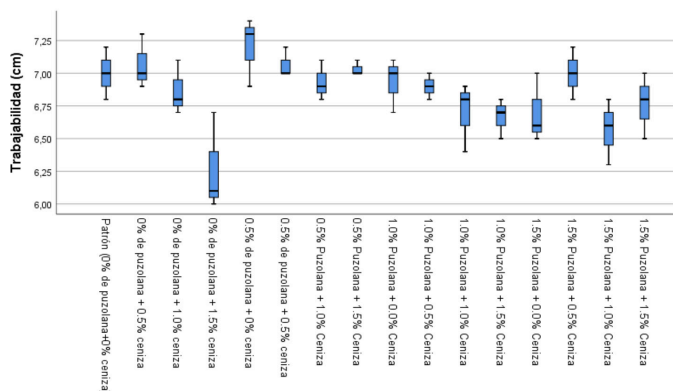


Figura 2: Diagrama de cajas de trabajabilidad

En respuesta al segundo objetivo específico, que consistía en disminuir la permeabilidad del concreto hidráulico mediante la incorporación de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto, la Figura 3 muestra las probetas ensayadas y la Tabla 2 presenta los resultados de permeabilidad.



Figura 3: Probetas para ensayos de permeabilidad

En la Tabla 2, en cuanto a la permeabilidad, se registró que el concreto patrón presentó una media de 7.64. La muestra

que contenía 1.0% de puzolana y 1.5% de ceniza exhibió la permeabilidad media más alta con un valor de 10.03, lo que podría indicar una mayor propensión a permitir el paso de fluidos. Por otro lado, la muestra con 0% de puzolana y 0.5% de ceniza mostró la permeabilidad media más baja con 6.59, indicando que la adición de ceniza en proporciones pequeñas podría contribuir a la reducción de la permeabilidad del concreto.

Tabla 2: Resultados de permeabilidad

Muestra	Permeabilidad			
	Mínimo	Máximo	Media	DE
Patrón (0% de puzolana+0% ceniza)	6.74	8.44	7.64	0.86
0% de puzolana + 0.5% ceniza	5.69	7.37	6.59	0.85
0% de puzolana + 1.0% ceniza	6.34	7.35	6.80	0.51
0% de puzolana + 1.5% ceniza	6.99	8.00	7.45	0.51
0.5% de puzolana + 0% ceniza	6.74	8.46	7.65	0.86
0.5% de puzolana + 0.5% ceniza	5.89	9.00	7.20	1.61
0.5% Puzolana + 1.0% Ceniza	6.34	9.45	7.71	1.59
0.5% Puzolana + 1.5% Ceniza	9.00	10.11	9.42	0.60
1.0% Puzolana + 0.0% Ceniza	6.74	8.69	7.73	0.98
1.0% Puzolana + 0.5% Ceniza	5.69	8.48	6.96	1.41
1.0% Puzolana + 1.0% Ceniza	6.34	9.14	7.61	1.42
1.0% Puzolana + 1.5% Ceniza	9.14	10.11	10.03	0.50
1.5% Puzolana + 0.0% Ceniza	6.74	8.65	7.71	0.96
1.5% Puzolana + 0.5% Ceniza	5.69	8.87	7.09	1.62
1.5% Puzolana + 1.0% Ceniza	6.34	9.53	7.74	1.63
1.5% Puzolana + 1.5% Ceniza	9.14	10.20	9.71	0.54

La Figura 4, en lo que respecta a la permeabilidad, el gráfico indica que la muestra de control exhibió una mediana relativamente reducida con algunos valores



extremos elevados. Las combinaciones con 1.0% de puzolana y 1.5% de ceniza presentaron la mediana más elevada y una variabilidad menor, indicando una mayor permeabilidad en general para esta configuración. Por otra parte, las combinaciones con 0% de puzolana y 0.5% de ceniza mostraron la mediana más baja, sugiriendo una mayor resistencia a la filtración de agua en comparación con las otras combinaciones.

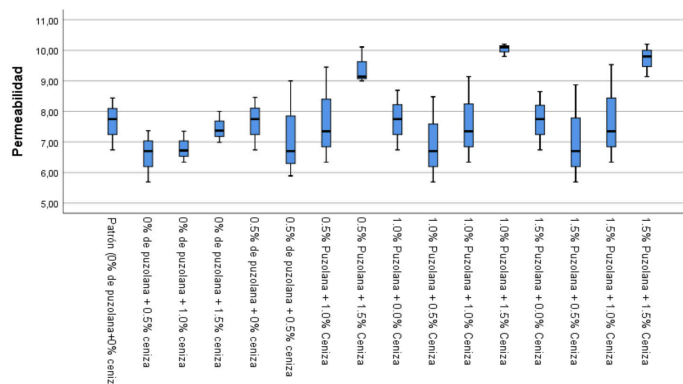


Figura 4: Diagrama de cajas de permeabilidad

En respuesta al tercer objetivo específico, que consistía en aumentar la resistencia del concreto hidráulico mediante la inclusión de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto, la Figura 5 muestra la rotura de una probeta en un ensayo de compresión no confinado y la Tabla 3 los resultados de resistencia a la compresión.



Figura 5: Rotura de probeta en un ensayo de compresión no confinado

En la Tabla 3, se registra que la muestra de control (Patrón), sin la presencia de puzolana ni ceniza, presentó una resistencia a la compresión con un valor mínimo de

229.25 kg/cm², un máximo de 355.00 kg/cm² y una media de 282.37 kg/cm². La muestra que exhibió la media de resistencia más alta fue la que contenía 0.5% de puzolana y 1.0% de ceniza, con un promedio de 315.87 kg/cm², indicando un aumento en la resistencia en comparación con el patrón. Por otro lado, la muestra con la media más baja fue la que incluía 1.5% de puzolana y 1.5% de ceniza, con 229.29 kg/cm², sugiriendo una disminución en la resistencia en comparación con el patrón.

Tabla 3: Resultados de resistencia a la compresión

Muestra	Resistencia a la compresión, kg/cm ²			
	Mínimo	Máximo	Media	DE
Patrón (0% de puzolana+0% ceniza)	229.25	355.00	282.37	53.25
0% de puzolana + 0.5% ceniza	262.59	391.87	310.99	51.79
0% de puzolana + 1.0% ceniza	241.97	329.34	277.03	35.95
0% de puzolana + 1.5% ceniza	162.27	344.32	251.82	80.84
0.5% de puzolana + 0% ceniza	221.48	361.83	294.33	53.58
0.5% de puzolana + 0.5% ceniza	234.02	391.29	308.76	62.38
0.5% Puzolana + 1.0% Ceniza	255.18	390.92	315.87	54.68
0.5% Puzolana + 1.5% Ceniza	223.89	326.05	285.05	39.14
1.0% Puzolana + 0.0% Ceniza	247.54	341.05	281.62	34.65
1.0% Puzolana + 0.5% Ceniza	245.96	334.30	289.70	34.83
1.0% Puzolana + 1.0% Ceniza	210.58	343.48	268.80	52.44
1.0% Puzolana + 1.5% Ceniza	133.70	303.51	236.78	75.62
1.5% Puzolana + 0.0% Ceniza	200.78	319.57	267.36	44.83
1.5% Puzolana + 0.5% Ceniza	232.53	328.38	267.78	41.88
1.5% Puzolana + 1.0% Ceniza	210.38	299.86	253.96	36.46
1.5% Puzolana + 1.5% Ceniza	187.49	274.92	229.29	34.91

La Figura 6 exhibe el diagrama de cajas para la resistencia



a la compresión, revelando una notoria variabilidad entre las diversas combinaciones. La muestra de control presenta una amplia gama de resultados con valores extremos en ambos extremos, señalando una variación significativa en la resistencia a la compresión en las muestras sin aditivos. Las combinaciones que carecían de puzolana y presentaban diferentes proporciones de ceniza tendían a mostrar una mediana más elevada y una variabilidad más estrecha en comparación con el patrón, indicando que la inclusión de ceniza podría estabilizar la resistencia a la compresión. A medida que aumentaba el porcentaje de puzolana, la mediana disminuía y la variabilidad se ampliaba, señalando una potencial reducción en la previsibilidad de la resistencia a la compresión.

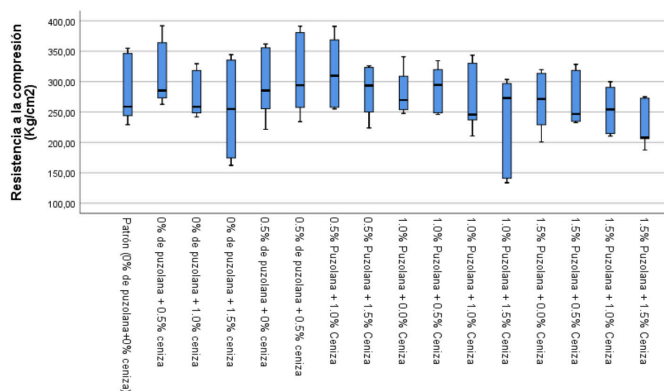


Figura 6: Diagrama de cajas de resistencia a la compresión

Discusión

Como resultado específico inicial, se estableció que la inclusión de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto generó un incremento sustancial en la facilidad de manipulación del concreto hidráulico. El presente estudio reveló que la introducción de un 0.5% de puzolana y un 0% de ceniza produjo un aumento del 2.86% en la facilidad de manipulación del concreto en comparación con el patrón. Este resultado guarda similitud con las conclusiones de Puerto (2019), quien observó que la inclusión de nanopartículas mejoró las propiedades reológicas del concreto autocompactante. El aumento en la facilidad de manipulación también está respaldado por la investigación de Martínez y Rojas (2021), que demostró que la maleza calcinada incrementó la manejabilidad del concreto. Además, los hallazgos de Buitrón e Ibarra (2022) sugieren que aditivos como la fibra de cáñamo pueden mejorar la facilidad de manipulación, aunque en un contexto diferente. Sin embargo, Tomoyose *et al.* (2020)

respaldan la idea de que aditivos específicos, como en su caso el polvo volcánico, pueden contribuir de manera significativa a la fluidez del concreto. La importancia de estos resultados radica en la posibilidad de optimizar las mezclas de concreto para mejorar la facilidad de manipulación sin comprometer otras propiedades, lo cual es esencial para aplicaciones prácticas en Ingeniería Civil.

Como segundo resultado específico, se constató que la inclusión de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto condujo a una reducción significativa de la permeabilidad en el concreto hidráulico de la ciudad de Huancayo. La disminución del 13.87% en la permeabilidad al añadir un 0% de puzolana y un 0.5% de ceniza muestra similitudes con los resultados obtenidos por Frago y Visbal (2021), quienes observaron que la puzolana natural mejora la porosidad y la permeabilidad del concreto. Este hallazgo se respalda también con la investigación de Pillaca (2020), que destaca la eficacia de la cal-puzolana en la reacción química que resulta en una menor permeabilidad. Además, los estudios de Sifuentes (2019) respaldan la idea de que las puzolanas naturales pueden mitigar la reacción alcali-silíce, lo que indirectamente puede mejorar la durabilidad y reducir la permeabilidad. En contraste, el estudio de Antezana (2022) demuestra que, aunque algunos aditivos mejoran ciertas propiedades mecánicas, pueden no tener un impacto en la permeabilidad, subrayando la importancia de seleccionar cuidadosamente los aditivos para lograr los resultados deseados. La implicación aquí es que la incorporación de ceniza de eucalipto puede considerarse como una estrategia viable para mejorar la durabilidad del concreto hidráulico, especialmente en estructuras expuestas a la humedad y al agua.

Como tercer resultado específico, se estableció que la inclusión de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto generó un aumento sustancial en la resistencia del concreto hidráulico. El incremento del 11.86% en la resistencia a la compresión del concreto al agregar un 0.5% de puzolana + 1.0% de ceniza de eucalipto indica una mejora significativa en la capacidad del material para soportar cargas. Este aumento encuentra respaldo en los resultados obtenidos por Frago y Visbal (2021), quienes documentaron mejoras en la resistencia gracias a la presencia de puzolana natural. De manera similar, Pillaca (2020) observó que los conglomerados que incorporan puzolanas exhiben una resistencia mejorada en ambientes húmedos, un efecto que



podría ser comparable al impacto de la ceniza de eucalipto en la resistencia a la compresión. Los descubrimientos de Buitrón e Ibarra (2022) indican que aditivos como la fibra de cáñamo, aunque en un contexto diferente, también pueden aumentar la resistencia mecánica del concreto. Además, la investigación de Tomoyose *et al.* (2020) respalda la idea de que aditivos seleccionados cuidadosamente pueden mejorar la resistencia del concreto, de manera similar al efecto observado con la ceniza de eucalipto. La importancia de estos resultados es significativa para la industria de la construcción en Huancayo, ya que sugiere que la utilización de aditivos locales y sostenibles puede fortalecer la seguridad estructural y la durabilidad del concreto en proyectos de infraestructura.

Conclusiones

Se determinó que la inclusión de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto generó un aumento significativo en la trabajabilidad del concreto hidráulico de la ciudad de Huancayo. Al comparar el valor estándar de 7.00 cm con el valor óptimo de 7.20 cm, obtenido con la combinación de 0.5% de puzolana y 0% de ceniza, se advierte un incremento del 2.86% en la trabajabilidad. Este avance es de relevancia, ya que un concreto más manejable facilita su vertido y compactación, contribuyendo así a una construcción más eficiente y a una mejora en la calidad del acabado.

Se estableció que la inclusión de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto produjo una disminución significativa en la permeabilidad del concreto hidráulico. En otras palabras, la permeabilidad, una propiedad crucial que incide en la durabilidad del concreto, también experimentó cambios significativos. La muestra estándar presentaba un valor de 7.64, mientras que la adición de 0% de puzolana y 0.5% de ceniza logró reducir la permeabilidad a 6.58, representando una disminución del 13.87%. Esta reducción tiene implicaciones relevantes para la durabilidad del concreto, especialmente en estructuras expuestas a ambientes húmedos o en contacto con el agua, ya que una permeabilidad menor implica una mayor resistencia a la infiltración de agua y a los ciclos de congelación y descongelación.

Se llegó a la conclusión de que la incorporación de puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto generó un aumento

significativo en la resistencia del concreto hidráulico. La resistencia de la mezcla estándar fue de 282.37 kg/cm², y la mezcla óptima con 0.5% de puzolana y 1.0% de ceniza elevó este valor a 315.86 kg/cm², representando un aumento del 11.86%. Este incremento en la resistencia reviste gran importancia, ya que indica que el concreto es capaz de soportar mayores cargas sin experimentar fallos, aspecto fundamental para la seguridad y la integridad estructural de las construcciones.

Referencias

- Antezana, C. (2022). *Propiedades físicas y mecánicas de concreto modificado con Puzolana de Mangifera aplicado en pavimentos rígidos, Ica 2022*. Trabajo de título de Ingeniería Civil, Universidad César Vallejo, Lima Norte, Perú
- Buitrón, D. e Ibarra, M. (2022). *Evaluación del aditamiento de cáñamo al hormigón hidráulico para mejorar sus propiedades mecánicas en el uso de pavimento*. Trabajo de título de Ingeniería Civil, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador
- Fragoso, J.A. y Visbal, J.E. (2021). *El uso de la Puzolana de origen natural en concreto hidráulico*. Trabajo de título de Ingeniería Civil, Universidad de Cartagena, Cartagena-Bolívar, Colombia
- Martinez, H.P. y Rojas, W.R. (2021). *Revisión sistemática del estudio de las patologías del concreto en la construcción en la zona costera del distrito de Huanchaco*. Informe de Bachiller en Ingeniería Civil, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú
- Pillaca, H. (2020). *Estudio del desempeño del concreto con aglomerante cal-puzonala y aditivos, como solución de bajo costo*. Trabajo de título de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú
- Puerto, J.D. (2019). *Efecto de la nanosílice sobre las propiedades reológicas de la matriz cementante y su influencia en el estado endurecido del Concreto Hidráulico*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia
- Sifuentes, E. (2019). *Mitigación de reacción Álcali Sílice, mediante Adición de Puzolanas naturales en concreto compactado con rodillo de $f'_c = 120$ kg/cm²*. Trabajo de título de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú
- Tomoyose, A., Noguchi, T., Sodeyama, K., and Higashi, K. (2020). Concrete with high-purity volcanic glass fine powder manufactured from pyroclastic deposit. *SN Applied Sciences* 2, 851