

Estudio de resistencia en mampostería: mortero de cantera vs. mortero con relave en Puno.

Study of resistance in masonry: quarry mortar vs. mortar with tailings in Puno.

Ronal Baroni Mamani Sánchez
rbmamani@ucvvirtual.edu.pe
ORCID 0000-0001-8812-2800
Universidad César Vallejo
Perú, Lima

Sleyther Arturo De La Cruz Vega
sdelacruzv@ucv.edu.pe
ORCID 0000-0002-0538-8628
Universidad César Vallejo
Perú, Lima

RESUMEN

Este estudio compara la resistencia mecánica en mampostería entre el mortero de cantera y el mortero con relave minero en la zona minera de Ananea, Puno. Se aplicó una metodología experimental con enfoque cuantitativo y se evaluaron 200 unidades de albañilería. Los resultados indican que el mortero con relave minero mostró una mayor resistencia a compresión en todas las etapas de evaluación. A los 7 días, la resistencia fue de 154.28 kg/cm² para el mortero con relave y 133.07 kg/cm² para el mortero de cantera. A los 14 días, el mortero con relave alcanzó 164.78 kg/cm², mientras que el mortero de cantera registró 139.14 kg/cm². A los 28 días, el mortero con relave logró 174.40 kg/cm², y el mortero de cantera llegó a 160.15 kg/cm². Estos resultados son relevantes para la construcción de mampostería y promueven el uso sostenible de relaves mineros en la construcción con consideraciones medioambientales.

Palabras clave: resistencia; mecánica; mortero; relave minero; mampostería

ABSTRACT

This study compares the mechanical strength in masonry between quarry mortar and mortar with mining tailings in the mining area of Ananea, Puno. An experimental methodology with a quantitative approach was applied and 200 masonry units were evaluated. The results indicate that the mortar with mining tailings showed higher compressive strength in all evaluation stages. At 7 days, the strength was 154.28 kg/cm² for the tailings mortar and 133.07 kg/cm² for the quarry mortar. At 14 days, the mortar with tailings reached 164.78 kg/cm², while the quarry mortar registered 139.14 kg/cm². At 28 days, the mortar with tailings achieved 174.40 kg/cm², and the quarry mortar reached 160.15 kg/cm². These results are relevant to masonry construction and promote the sustainable use of mine tailings in construction, with environmental considerations.

Key words: mechanical; strength; mortar; mine tailings; masonry

INTRODUCCIÓN

La construcción de albañilería ha sido una técnica ampliamente utilizada a lo largo de la historia para la edificación de diversas estructuras, desde viviendas hasta monumentos emblemáticos. El mortero, como componente esencial de la albañilería, juega un papel crucial en la resistencia y durabilidad de estas construcciones (Maximiliano y Andrés 2004).

En la búsqueda de alternativas más sostenibles y eficientes, el uso de agregados reciclados provenientes de relave minero ha surgido como una opción prometedora en la industria de la construcción (Anawar 2015). Estos relaves mineros, subproductos de la extracción de minerales, representan una oportunidad para su reutilización como agregados en morteros y concretos, reduciendo así la explotación de recursos naturales y minimizando la generación de residuos (Romero y Flores, 2010).

En la región de Puno, Perú, la minería ha sido una actividad de gran relevancia económica, generando significativas cantidades de relave minero como subproducto (Magaly y otros 2021). Estos residuos, si no son gestionados adecuadamente, pueden representar una amenaza para el medio ambiente y la salud humana. Sin embargo, se ha reconocido su potencial como material alternativo en la construcción, lo que ha despertado el interés en investigar su viabilidad y rendimiento en aplicaciones como el mortero de albañilería (Jesús, Estefanía y Édgar, 2013).

El planteamiento del problema se enfoca en la problemática relacionada con los relaves mineros, una cuestión crítica en la industria minera y su impacto en el medio ambiente y la salud humana (Ricardo, Paulina y otros 2013). El objetivo es analizar las prácticas actuales, las medidas de mitigación implementadas y las regulaciones vigentes para identificar desafíos y proponer soluciones que promuevan una gestión responsable y sostenible de estos desechos. Una gestión inadecuada de los relaves puede tener graves consecuencias ambientales y afectar negativamente a las comunidades cercanas a las minas, por lo que

es esencial evaluar y mejorar constantemente las estrategias para una minería más responsable y amigable con el entorno (Walter, Brayan y Camilo 2022).

Yohana (2019), en su tesis para optar el grado de ingeniera en geología ambiental y ordenamiento territorial. Su objetivo principal fue realizar un análisis completo del relave minero de la Planta de Beneficio Santa Lucía, centrándose en sus aspectos físicos, mecánicos y químicos, con la finalidad de evaluar su viabilidad como componente en morteros para construcción. Los resultados obtenidos del estudio realizado en la Planta de tratamiento y beneficio "Santa Lucía" respaldan la viabilidad del uso del relave minero en morteros de mampostería. Respecto a la resistencia, se comprobó que los morteros con hasta el 25% de reemplazo de relave cumplen con los estándares requeridos. Además, se constató que la presencia de metales pesados en el relave no afecta negativamente la resistencia del mortero de mampostería debido a su encapsulación por el cemento.

Fredy (2021), en su tesis para optar el grado de ingeniero civil. Su objetivo principal fue emplear el relave minero como un cemento puzolánico en la elaboración de concreto, aprovechando su contenido elevado de óxido de silicio y otros elementos esenciales concluyo que El análisis mediante fluorescencia de rayos X demuestra que el relave minero contiene una composición que incluye Dióxido de silicio (SiO_2) con un 78.32%, Óxido de calcio (CaO) con un 0.24%, Trióxido de aluminio (Al_2O_3) con un 9.24%, y Trióxido de hierro (Fe_2O_3) con un 2.03%, sumando un total de 89.83%. Los ensayos de pH indican que tanto el relave minero como su combinación con cemento al 10% y 20% son de naturaleza alcalina, mostrando valores de pH comparables al cemento.

MÉTODO

La investigación se desarrolló mediante una metodología aplicada, la cual implica la aplicación práctica de técnicas y herramientas para resolver problemas específicos (Zoila 2009). Para ello, se utilizó un diseño experimental puro, que consiste en el estudio controlado y sistemático de dos grupos de muestras independientes: el mortero de cantera y el mortero con relave minero. Este enfoque experimental permitió evaluar de manera precisa las propiedades físico-mecánicas de ambos tipos de mortero y comparar sus comportamientos. (Burgueño et al, 2005)

El enfoque cuantitativo, por otro lado, se basó en la recolección de datos numéricos y cuantificables a través de mediciones y pruebas estandarizadas. En este sentido, se llevaron a cabo ensayos específicos para medir la resistencia de los morteros, como el ensayo de compresión axial en las unidades de albañilería. (María e Iñiga, 2007)

La muestra seleccionada para el estudio constó de 200 unidades de albañilería, lo que permitió obtener una muestra representativa y significativa de los morteros de cantera y relave minero utilizados en la construcción. Esta muestra incluyó probetas de diferentes edades de curado, lo que permitió analizar la evolución de la resistencia a lo largo del tiempo.

RESULTADOS

Tras un minucioso estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas del mortero de cantera y el mortero con relave minero extraído de la zona minera Pampa Blanca Ananea, se observaron diferencias significativas

Estos valores representan las características físicas del agregado fino de relave minero y el agregado fino de cantera.

Tabla 1. Resumen comparativo de las características físico-mecánicas.

Propiedad	Relave Minero	Cantera
Módulo de Fineza	3.180	2.980
Peso Unitario Suelto (g/cm ³)	1.639	1.662
Peso Unitario Compactado (g/cm ³)	1.822	1.786
Peso Específico (g/cm ³)	2.640	2.660
Porcentaje de Absorción (%)	2.570	2.460
Porcentaje de pérdida abrasión de los ángeles (%)	23.84	25.34

De la tabla 1 infiere las propiedades del relave minero y la cantera, se observan notables diferencias. El módulo de fineza del relave minero fue registrado como 3.18, mientras que para la cantera fue ligeramente inferior, con un valor de 2.98. En términos de peso unitario suelto, el relave minero presentó un valor de 1.639 g/cm³, mientras que la cantera mostró una ligera diferencia con un valor de 1.662 g/cm³. En cuanto al peso unitario compactado, el relave minero mostró un valor de 1.822 g/cm³, mientras que la cantera tuvo un valor de 1.786 g/cm³. Respecto al peso específico, el relave minero exhibió un valor de 2.64 g/cm³, mientras que la cantera tuvo un valor ligeramente superior de 2.66 g/cm³. Por último, en el porcentaje de absorción, el relave minero presentó un valor del 2.57%, mientras que la cantera mostró un valor ligeramente menor, con un 2.46%. Los datos obtenidos del análisis del porcentaje de pérdida y la resistencia al desgaste evidencian que el agregado de cantera exhibió una tasa de pérdida del 25,34%, mientras que el agregado de relave minero presentó un menor porcentaje de pérdida, alcanzando el 23,84%. Estos resultados apuntan a que el agregado de cantera experimentó una mayor degradación en comparación con el agregado de relave minero.



Figura 1. Lugar de extracción de muestra del relave minero.

Análisis físico químico.

Los resultados del estudio químico del suelo de relave minero indican una baja presencia de nitrógeno, una cantidad moderada de potasio, la existencia de materia orgánica y una concentración moderada de aluminio. Estos hallazgos son fundamentales para evaluar la idoneidad del suelo para el desarrollo de las plantas y considerar posibles medidas para mejorar su calidad lo cual se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis físico-químico del relave minero.

Tipo de Análisis	Parámetro	Valor	Unidad
Características Físicas	pH	4.4	Ácido
	C.E. (Conductividad Eléctrica)	0.15	mS/cm
Análisis Físico-Químico	Nitrógeno	0.07	%
	Potasio	78.0	ppm
	Materia Orgánica	0.9	%
	Aluminio	1.8	me/100g suelo
Análisis de Metales Pesados	Arsénico	138.8	mg/kg
	Cadmio	0.9	mg/kg
	Mercurio	0.15	mg/kg
	Plomo	60	mg/kg

Los resultados del análisis químico de metales pesados indican que las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en el suelo del relave minero se encuentran dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos comerciales/industriales/extractivos. La máxima concentración de arsénico detectada fue de 138.80 mg/kg, mientras que la de cadmio fue de 0.90 mg/kg, la de mercurio fue de 0.15 mg/kg y la de plomo fue de 60 mg/kg. Estos valores aseguran que no existe una presencia significativa de estos metales pesados en el suelo que pueda ser perjudicial para el medio ambiente y la salud humana.

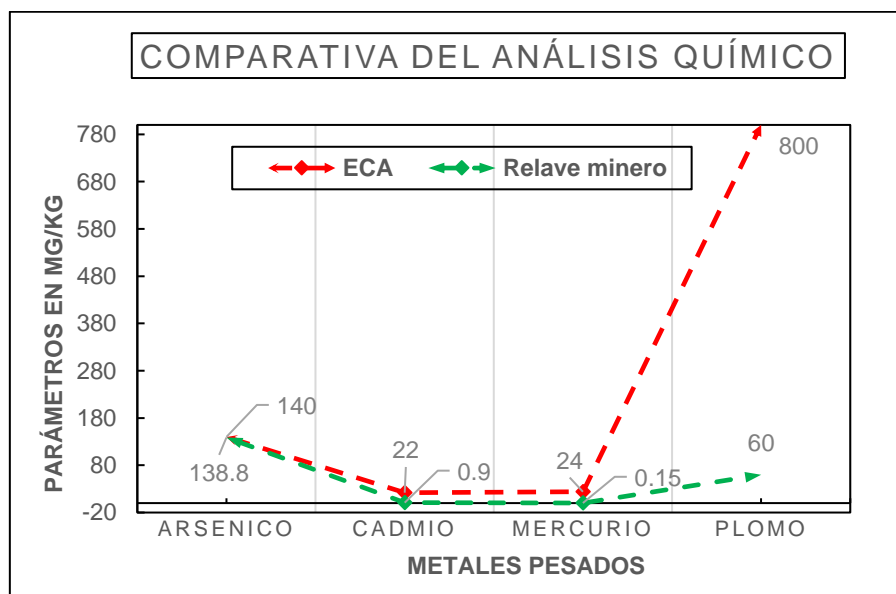


Figura 2. Gráfico comparativo del análisis químico.

El mortero en estado endurecido.

En este análisis comparativo entre el mortero con relave minero y el mortero de cantera, se evaluará su resistencia a compresión a diferentes intervalos de tiempo durante el proceso de curado. Ambos tipos de mortero fueron preparados con una proporción de 1:4 y una relación agua/cemento de 0.7, asegurando una base sólida para la comparación.

Tabla 3. Resistencia a compresión cubos con mortero de cantera de 5x5 cm.

Espécimen del ensayo	Edad (días)	Cubos de mortero Área (cm ²)	Carga (Kg)	Resistencia Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²
M1	7 días	24.99	3320	132.85	133.07
M2		24.75	3350	135.35	
M3		23.38	3160	135.16	
M1	14 días	24.39	3470	142.27	139.14
M2		24.37	3460	141.98	
M3		24.29	3451	142.07	
M4		23.03	3210	139.38	
M5		23.52	3260	138.61	
M1	28 días	25.00	4040	161.60	160.15
M2		25.02	4000	159.87	
M3		25.00	4110	164.40	
M4		24.50	3950	161.22	
M5		25.10	4040	160.96	
M6		24.75	4020	162.42	

Tabla 4. Resistencia a compresión cubos con mortero de relave de 5x5 cm.

Espécimen del ensayo	Edad (días)	Cubos de mortero Área (cm ²)	Carga (Kg)	Resistencia Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²
M1	7 días	25.30	3900	154.15	154.28
M2		27.04	4220	156.07	
M3		25.60	4020	157.01	
M1	14 días	25.81	4310	167.02	164.78
M2		24.79	4070	164.15	
M3		26.31	4410	167.60	
M4		25.60	4260	166.38	
M5		26.52	4560	170.81	
M1	28 días	25.00	4350	174.00	174.4
M2		25.25	4450	176.24	
M3		24.50	4380	178.78	
M4		25.00	4400	176.00	
M5		25.00	4390	175.60	
M6		25.30	4410	174.31	

De las tablas 3 y 4 infieren los siguientes resultados. A los 7 días de curado, el mortero con relave minero exhibió una resistencia a compresión de 154.28 kg/cm², mientras que el

mortero de cantera alcanzó los 133.07 kg/cm². Estos valores señalan una diferencia de 21.21 kg/cm², resaltando el rendimiento inicialmente superior del mortero con relave minero en comparación con el de cantera. Al llegar a los 14 días de curado, el mortero con relave minero continuó mostrando su ventaja en resistencia, obteniendo un valor de 164.78 kg/cm², mientras que el mortero de cantera registró 139.14 kg/cm². La diferencia aumentó a 25.64 kg/cm², confirmando la superioridad del mortero con relave minero en esta etapa intermedia. Finalmente, al cumplirse 28 días de curado, el mortero con relave minero mantuvo su mayor resistencia, alcanzando 174.40 kg/cm², mientras que el mortero de cantera logró 160.15 kg/cm². La diferencia de 14.25 kg/cm² resalta nuevamente el mejor desempeño del mortero con relave minero incluso en la fase final de curado.



Figura 3. Ensayo de resistencia a compresión cubos de mortero.

Ensayo de resistencia a compresión axial y diagonal en pilas.

Para los ensayos de compresión hacia la unidad des de albañilería se utilizó ladrillos K.K. de 18H. de dimensiones 10x14x24 cm.

Tabla 5. Resistencia a compresión axial pilas con mortero de cantera.

Espécimen del ensayo	Edad (días)	Pilas con mortero de cantera Área (cm ²)	Carga (Kg)	Resistencia Kg/cm ² (f'm)	Promedio Kg/cm ² (f'm)
M1	14 días	333.20	24700	57.08	53.66
M2		347.49	25920	56.72	
M3		322.32	22150	53.35	
M1	21 días	328.80	29860	70.84	68.00
M2		340.20	29930	67.83	
M3		347.49	31910	70.00	
M1	28 días	328.80	30210	71.39	70.96
M2		328.44	30170	70.97	
M3		333.60	31120	71.86	

Tabla 6. Resistencia a compresión axial pilas con mortero de relave.

Espécimen del ensayo	Edad (días)	Pilas con mortero de cantera Área (cm ²)	Carga (Kg)	Resistencia Kg/cm ² (f'm)	Promedio Kg/cm ² (f'm)
M1	14 días	336.00	24560	56.21	56.21
M2		345.06	25600	56.79	
M3		334.99	24880	57.36	
M1	21 días	322.32	28360	68.85	68.97
M2		345.06	32000	71.08	
M3		329.43	30790	72.47	
M1	28 días	324.69	30490	72.87	73
M2		328.80	31500	74.54	
M3		343.64	33210	74.26	

De las tablas 5 y 6 infieren los siguientes resultados. A los 14 días de edad, se evidenció que las pilas con mortero de cantera registraron una resistencia promedio de 53.66 kg/cm², mientras que las pilas con relave presentaron un valor medio de resistencia de 56.21 kg/cm². En esta etapa inicial, se observó una ligera ventaja en términos de resistencia para las pilas con mortero de cantera, aunque las diferencias no resultaron significativas. No obstante, al alcanzar los 21 días, las pilas con mortero de cantera mostraron una resistencia media de 68.00 kg/cm², mientras que las pilas con relave superaron esta cifra con un promedio de resistencia de 68.85 kg/cm². En este punto, las pilas con relave comenzaron a demostrar un rendimiento similar al de las pilas con mortero de cantera, acercándose en términos de resistencia. Finalmente, a los 28 días, las diferencias se ampliaron aún más. Las pilas con mortero de cantera exhibieron una resistencia promedio de 70.96 kg/cm², mientras que las pilas con relave alcanzaron un promedio de resistencia de 73.00 kg/cm². En este período, las pilas con relave superaron a las pilas con mortero de cantera en resistencia, demostrando un mayor potencial de desarrollo y un desempeño superior en términos de resistencia a compresión axial.



Figura 4. Ensayo de compresión axial en pilas.

Tabla 7. Resistencia a la adherencia en pilas con mortero de cantera.

Espécimen del ensayo	Edad (días)	Pilas con mortero de cantera Área (cm ²)	Carga (Kg)	Resistencia a la adherencia Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²
M1	14 días	445.48	1592	3.57	3.15
M2		453.73	1707	3.76	
M3		456.78	1425	3.12	
M1	28 días	447.24	1886	4.22	4.23
M2		447.64	1987	4.44	
M3		456.88	2010	4.4	

Tabla 8. Resistencia a la adherencia en pilas con mortero de relave.

Espécimen del ensayo	Edad (días)	Pilas con mortero de relave minero Área (cm ²)	Carga (Kg)	Resistencia a la adherencia Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²
M1	14 días	450.02	1550	3.44	3.45
M2		448.27	1594	3.56	
M3		460.3	1680	3.65	
M1	28 días	449.72	2068	4.6	4.47
M2		453.26	2022	4.46	
M3		454.34	2091	4.6	

De las tablas 7 y 8, a los 14 días de edad, los resultados revelaron que el mortero de cantera alcanzó una resistencia promedio de 3.15 kg/cm², mientras que el mortero con relave presentó una resistencia característica promedio de 3.44 kg/cm². Sin embargo, al llegar a los 28 días, se observó un incremento significativo en la resistencia del mortero con relave, alcanzando un promedio de 4.47 kg/cm², ligeramente superior al promedio de resistencia de 4.23 kg/cm² obtenido para el mortero de cantera. En el ensayo de compresión diagonal de muretes a los 28 días de edad, se compararon dos tipos de mortero: uno elaborado con cantera y otro con relave minero. Los resultados revelaron que el mortero con relave minero mostró un desempeño superior en cuanto a resistencia a la compresión diagonal.

Tabla 9. Resistencia a compresión diagonal muretes con mortero de cantera.

Espécimen del ensayo	Edad (días)	Murete con mortero de cantera Área (cm ²)	Carga (Kg)	Resistencia Kg/cm ² (v'm)	Promedio Kg/cm ² (v'm)
M1	28 días	839.30	5884.78	4.96	5.28
M2		822.69	6385.46	5.49	
M3		820.63	6258	5.39	

Tabla 10. Resistencia a compresión diagonal muretes con mortero de relave.

Espécimen del ensayo	Edad (días)	Murete con mortero de relave minero Área (cm ²)	Carga (Kg)	Resistencia Kg/cm ² (v'm)	Promedio Kg/cm ² (v'm)
M1	28 días	826.62	7983.36	6.83	6.88
M2		837.90	7856.91	6.63	
M3		818.58	8325.98	7.19	

En promedio, la carga de falla obtenida para el mortero con relave minero fue considerablemente mayor que la del mortero con cantera. Los valores promedio de carga de falla para el mortero con relave minero fueron de 7983.36 Kg para el M-1, 7856.91 Kg para el M-2 y 8325.98 Kg para el M-3, mientras que, para el mortero con cantera, los valores promedio de carga de falla fueron de 5884.78 Kg para el M-1, 6385.46 Kg para el M-2 y 6258 Kg para el M-3. Del mismo modo, los valores promedio de resistencia a la compresión diagonal (V'm) fueron más altos para el mortero con relave minero, con valores promedio de 6.83 kg/cm² para el M-1, 6.63 kg/cm² para el M-2 y 7.19 kg/cm² para el M-3, en comparación con los valores promedio del mortero con cantera, que fueron de 4.96 kg/cm² para el M-1, 5.49 kg/cm² para el M-2 y 5.39 kg/cm² para el M-3.



Figura 5. Ensayo de compresión diagonal muretes.

DISCUSIÓN

Basándonos en los resultados comparativos, el relave minero mostró un módulo de fineza de 3.18, mientras que la cantera presentó un valor de 2.98 respecto al peso unitario suelto, el relave minero registró un promedio de 1.639 g/cm³, mientras que la cantera mostró un promedio de 1.662 g/cm³. Además, el peso unitario compactado del relave fue de 1.822 g/cm³, mientras que el de la cantera fue de 1.786 g/cm³. En cuanto al peso específico, el relave minero obtuvo un valor de 2.64 g/cm³, mientras que la cantera arrojó un valor de 2.66

g/cm³. Asimismo, el porcentaje de absorción del relave fue del 2.57%, mientras que el de la cantera fue ligeramente menor, con un 2.46%.

De los resultados del ensayo de abrasión de los ángeles, revela que el agregado de relave minero registró una tasa de pérdida del 23,84%, mientras que el agregado de cantera mostró un 25,34% de pérdida. Estos datos sugieren que el agregado de relave minero es más resistente al desgaste en comparación con el de cantera.

Los resultados del análisis químico del suelo de relave minero proporcionan información crucial sobre su calidad ambiental. Se observó una baja presencia de nitrógeno, una cantidad moderada de potasio, así como la existencia de materia orgánica y una concentración moderada de aluminio. Estos descubrimientos son fundamentales para evaluar la idoneidad del suelo para el crecimiento de las plantas y considerar medidas para mejorar su calidad.

En cuanto al análisis de metales pesados, se verificó que las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en el suelo del relave minero se encuentran dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). La máxima concentración de arsénico detectada fue de 138.80 mg/kg, mientras que para el cadmio fue de 0.90 mg/kg, para el mercurio de 0.15 mg/kg y para el plomo de 60 mg/kg. Estos resultados aseguran que no existe una presencia significativa de metales pesados en el suelo que pueda tener efectos perjudiciales en el medio ambiente y la salud humana. Estos resultados concuerdan con Yohana (2021), que en su investigación concluyó que los metales pesados contenidos en el relave no generan daños en el mortero de mampostería ya que son encapsulados por el cemento.

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión entre el mortero con relave minero y el mortero de cantera muestran una clara ventaja del mortero con relave minero en todas las etapas de curado. A los 7 días, se observó una diferencia de 21.21 kg/cm² en la resistencia a favor del mortero con relave minero, aumentando a 25.64 kg/cm² a los 14 días y manteniéndose en 14.25 kg/cm² a los 28 días. Estos resultados concuerdan con Gabriela y Jessica (2022), donde ellos concluyeron que, las probetas que fueron creadas con el 100% de relave minero después de los 21 días demostraron una mayor resistencia. La probeta 1 con 100% arena sílice tuvo una resistencia de 7,745 MPa y la probeta 14 con 100% relave minero soportó 18,929 MPa, demostrando que la presencia de relave aumenta la resistencia de los morteros, siendo factible utilizarlos en la industria de la construcción.

Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión axial en pilas con mortero de cantera y relave minero revelaron interesantes hallazgos, las pilas con relave minero demostraron un progreso significativo en su resistencia a compresión. A los 28 días, las pilas con relave superaron ampliamente la resistencia de las pilas con mortero de cantera, evidenciando un mayor potencial de desarrollo en términos de resistencia estructural. Estos resultados concuerdan con Khristina (2021), donde en su investigación concluyó que la resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días obtenida en los especímenes de morteros experimentales al 8% aumento su resistencia en 0.01%, 2.49% y 2% respectivamente. También podemos observar que, a la edad de 3,7 y 28 días, los morteros experimentales

al 15% de sustitución no logran superar al mortero patrón, teniendo un porcentaje de 44.97%, 42.27% y 48.15% respectivamente. 28 días de los morteros experimentales se ha visto reducida con respecto al mortero patrón, siendo estas disminuciones expresadas debido a los efectos que producen el pH y los elementos químicos determinados del relave minero.

Los resultados del ensayo de resistencia a adherencia a cizalle de morteros a diferentes edades proporcionaron datos significativos. A los 14 días de curado, se observó que el mortero elaborado con agregado de cantera mostró una resistencia promedio de 3.15 kg/cm², mientras que el mortero que incorporaba relave minero obtuvo un promedio ligeramente superior de 3.44 kg/cm². Aunque hubo una pequeña diferencia inicial en la resistencia, no resultó significativa. No obstante, al alcanzar los 28 días, se registró un aumento considerable en la resistencia del mortero con relave minero, logrando un promedio de 4.47 kg/cm², ligeramente superior al promedio de resistencia de 4.23 kg/cm² obtenido para el mortero de cantera. Estos resultados indican que el mortero con relave minero demostró un mejor desempeño. Estos resultados concuerdan con Felipe (2015) donde en su investigación concluyó. En adherencia a cizalle, independientemente de la forma y el lugar en donde ocurriera el fallo, las probetas con mayor agregado de fibras fueron las que mostraron la más alta resistencia. Se deduce que esto ocurre debido a que, al haber una mayor cantidad de fibras sobresalientes de los ladrillos, estas entran en contacto con el mortero provocando un “enganche” mayor, aumentado así su adherencia.

En el estudio de compresión diagonal de muretes a los 28 días de edad, los datos revelaron que el mortero con relave minero exhibió un mejor rendimiento en términos de resistencia a la compresión diagonal. Los valores promedio de resistencia a la compresión diagonal (V'm) fueron más altos para el mortero con relave minero. Los resultados mostraron valores promedio de 6.83 kg/cm², 6.63 kg/cm² y 7.19 kg/cm², en comparación con los valores promedio de 4.96 kg/cm², 5.49 kg/cm² y 5.39 kg/cm² obtenidos para el mortero con cantera en. Estos hallazgos indican claramente una ventaja en términos de resistencia para el mortero con relave minero en los tres especímenes evaluados, destacando su mayor capacidad para soportar fuerzas de compresión en comparación con el mortero de cantera. Estas conclusiones concuerdan con María (2019), donde concluyó que acorde a los ensayos de compresión diagonal de los muretes preparados, la presencia de relave en un 10% y 15%, reducen en un 23% y 37% la resistencia mecánica de las muestras ensayadas respectivamente, por lo que la resistencia al corte disminuye debido a factores de clima sobre todo en temporada de helada.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas entre el mortero de cantera y el mortero con relave minero indican que ambos materiales cumplen con los estándares de calidad para su aplicación en construcción de albañilería.

En términos de resistencia, el mortero con relave minero muestra una ventaja sobre el mortero de cantera. A los 7 días, el mortero con relave minero presenta una resistencia de 154.28 kg/cm², superando al mortero de cantera en 21.21 kg/cm². A los 14 días, esta

diferencia se amplió a 25.64 kg/cm², con el mortero de relave minero alcanzando una resistencia de 164.78 kg/cm² y el de cantera registrando 139.14 kg/cm². A los 28 días, la tendencia se mantuvo, con el mortero de relave minero mostrando una resistencia de 174.40 kg/cm² y el de cantera llegando a 160.15 kg/cm². Estos resultados sugieren que el mortero con relave minero puede ofrecer una mayor resistencia estructural en ciertas aplicaciones, aunque el mortero de cantera también muestra resultados satisfactorios en términos de resistencia.

El análisis químico del suelo de relave minero indica un pH ácido, baja conductividad eléctrica y concentración moderada de nutrientes como el nitrógeno y el potasio. Además, se detecta materia orgánica y concentración moderada de aluminio. Los resultados del análisis de metales pesados demuestran que las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en el suelo del relave minero se encuentran dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos comerciales/industriales/extractivos. Estos resultados garantizan que no existen concentraciones dañinas que puedan representar un riesgo para el medio ambiente y la salud humana.

el análisis comparativo de la compresión axial en pilas de albañilería entre el mortero de cantera y el mortero con relave minero muestra que ambos materiales son adecuados para soportar cargas verticales en estructuras de albañilería. A los 14 días, el mortero con relave minero demostró una resistencia ligeramente superior (56.21 kg/cm²) en comparación con el mortero de cantera (53.66 kg/cm²). Esta diferencia en resistencia se mantuvo hacia los 28 días, con el mortero de cantera alcanzando una resistencia promedio de 70.96 kg/cm² y el mortero con relave minero llegando a 73.00 kg/cm².

El análisis comparativo de los ensayos de resistencia a la adherencia entre el mortero de cantera y el mortero con relave minero muestra que, a los 14 días, el mortero con relave minero es ligeramente más resistente (3.44 kg/cm² vs. 3.15 kg/cm²). A los 28 días, esta superioridad se mantiene (4.47 kg/cm² vs. 4.23 kg/cm²). Ambos morteros son consistentes y uniformes en sus resultados, lo que respalda la viabilidad del uso del mortero con relave minero como una alternativa adecuada.

Los muretes construidos con mortero de cantera exhibieron promedio de resistencia v^{ím} de 5.22 kg/cm². En contraste, los muretes con mortero de relave minero presentaron cargas de falla promedio de resistencia v^{ím} de 6.88 kg/cm², respectivamente.

Estos resultados de manera evidente señalan que el mortero con relave minero posee una resistencia superior al mortero de cantera en los muretes sometidos a compresión diagonal.

CONFLICTO DE INTERESES.

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

Astrozal., M., y Schmidt A., A. (2004). *Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño*. Revista de Ingeniería Sísmica, (70), 59-75.

Anawar, H. M. (2015). *Sustainable rehabilitation of mining waste and acid mine drainage using geochemistry, mine type, mineralogy, texture, ore extraction and climate knowledge*. Journal of environmental management, (158), 111-121.

Romero, A. A., y Flores, S. L. (2010). *Reusó de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas*. Industrial Data, 13(2), 75-82.

Brousett-Minaya, M. A., Rondan-Sanabria, G. G., Chirinos-Marroquín, M., y Biamont-Rojas, I. (2021). *Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno - Perú*. Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia, 21(21), 187-208.

Castaño Tabares, J. O., Robayo Núñez, E., y Sánchez Cotte, É. H. (2013). *Materiales de construcción sostenibles. Comportamiento mecánico y durabilidad de morteros con cenizas volantes activadas alcalinamente*. Tecnura, 17(2), 79-89.

Zamarreño, R. A., Gonzalez, P. N., Hanshing, E. X., Amar, G. A., y Pizarro, C. M. (2013). *Evaluación del riesgo ambiental por la presencia de mercurio en relaves mineros dentro de la ciudad de Andacollo, Chile*. Avances en Ciencias e Ingeniería, 4(4), 75-83.

Pardavé Livia, W., Serrano Uribe, B. S., y Castillo Martínez, C. H. (2022). *Tratamiento de Drenajes Ácidos de Mina (DAM) mediante filtros elaborados con relave minero*. Revista Politécnica, 18(36), 115-125.

Sánchez Valverde, Y. E. (2019). *Estudio del relave minero de la planta de beneficio Santa Lucía del sector La Maravilla de la parroquia Pucará, cantón Pucará, provincia del Azuay, con fines de utilización en morteros de pega de unidades de mampostería*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Loja.

Alva Morales, A. F., (2021). *Resistencia a la compresión de bloquetas de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$, al sustituir el cemento con relave minero en 10 y 20 % - Ancash*. [Tesis de pregrado]. Universidad San Pedro.

Vargas Cordero, Z. R., (2009). *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Revista Educación, 33 (1), 155-165.

Burgueño Ferreira, J. A., Martínez Garza, Á., Crossa, J., y Mastache Lagunas, Á. (2005). *Diseños experimentales con testigos repetidos*. Agrocencia, 39(6), 679-691.

Müggenburg Rodríguez V., M. C., y Pérez Cabrera, I. (2007). Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa. *Enfermería Universitaria*, 4(1), 35-38.

Lojano García, G. A., Y Robles Alvarado, J. C. (2022). *Análisis de la resistencia a la compresión simple en morteros utilizando relave minero de la planta de beneficio GOLDSERVIPLANT CIA LTDA, Portovelo - El Oro*. [Tesis de pregrado]. Universidad del Azuay.

Rodríguez G., K. I., (2021). *Resistencia a la compresión de mortero sustituyendo a la arena por relave minero en un 8% y 15%*. [tesis para optar el título profesional]. Universidad San Pedro facultad de ingeniería.

Felipe A., C. C., (2015). *Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos de suelo-cemento con incorporación de fibras híbridas*. [tesis para optar el título profesional]. Universidad de Valparaíso Chile.

Tarazona R., M. C. (2019). *Resistencia mecánica de la albañilería estructural y mortero con cemento sustituido en 10% y 15% por relaves*. [tesis para optar el título profesional]. Universidad San Pedro facultad de ingeniería programa de estudio de ingeniería civil.