

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



POLYMETALLIC MINING TAILINGS REUSE WITHIN THE FRAMEWORK OF CIRCULAR ECONOMY FOR CONCRETE PRODUCTION

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Andrea Carolina Ojeda Zamudio

Código 20181325

Salvador Carlos Montori Barba

Código 20181225

Asesor

Juan Carlos Quiroz Flores

Lima – Perú

Noviembre 2024

<p>Título</p> <p>POLYMETALLIC MINING TAILINGS REUSE WITHIN THE FRAMEWORK OF CIRCULAR ECONOMY FOR CONCRETE PRODUCTION</p>
<p>Autor(es)</p> <p>Andrea Carolina Ojeda Zamudio 20181325@aloe.ulima.edu.pe Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú</p> <p>Salvador Carlos Montori Barba 20181225@aloe.ulima.edu.pe Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú</p> <p>Juan Carlos Quiroz Flores jcquiroz@ulima.edu.pe Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú</p>
<p>Resumen: La minería es uno de los sectores que genera mayores riquezas en el Perú, sin embargo, los relaves que produce pueden tener impactos negativos en el medio ambiente si no son correctamente tratados, y el almacenamiento de estos implica altos costos para las industrias mineras. En aras de buscar una solución en el marco de la economía circular, este trabajo busca determinar la viabilidad tecnológica y ambiental de reemplazar la arena del concreto tradicional por relave polimetálico. Para ello se realizaron distintas mezclas de concreto con relave polimetálico para determinar la trabajabilidad, peso unitario, temperatura, contenido de aire y resistencia de estas. Finalmente, se concluyó que sí se puede utilizar el relave polimetálico, como un reemplazo parcial de la arena en concreto convencional para usos de concreto estructural simple (pisos, muros, pedestales, etc).</p> <p>Palabras Clave: Relaves mineros polimetálicos, economía circular, manejo de residuos, residuos mineros, concreto sostenible.</p> <p>Abstract: Mining is one of the economic sectors that generates the greatest wealth in Peru, however, the tailings produced by it can negatively impact the environment, if they are not properly treated, and their storage also implies high costs for the mining industries. To find a solution within the framework of the circular economy, this work seeks to determine the technological and environmental feasibility of replacing traditional concrete sand with polymetallic tailings. Therefore, different mixtures of concrete with polymetallic tailings were made to determine the workability, unit weight, temperature, air content, and resistance of each of them. Consequently, it was concluded that polymetallic tailings can partially replace sand in conventional concrete for basic structural applications such as floors, walls, and pedestals.</p> <p>Keywords: Polymetallic mining tailings, circular economy, waste management, mining waste, sustainable concrete.</p>
<p>Línea de investigación IDIC – ULIMA: (12) – Ingeniería de diseño y manufactura.</p>
<p>Área y Sub-áreas de Investigación: Recursos naturales y medio ambiente.</p>
<p>Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS): (12) - Producción y consumo responsables</p>

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ciclo de vida de los recursos minerales incluye la extracción, refinación, manufactura y gestión de residuos, generando desechos que se almacenan en vertederos. Actualmente, hay alrededor de 176 minas metálicas en operación en Perú, aunque la cantidad de relaves producidos es incierta, evidenciando una falta de control en su gestión. Los relaves mineros causan contaminación del agua y del suelo, por lo que es esencial manejar su almacenamiento de manera sostenible.

En la revisión de literatura realizada, se observó estudios que utilizaban estos residuos en la generación de materiales de construcción, sin embargo, se identificó una brecha en la cual no se habla del uso de relaves polimetálicos para este fin.

OBJETIVOS

Este estudio evalúa la viabilidad tecnológica y ambiental de producir concreto utilizando relaves mineros polimetálicos. Busca identificar métodos y tecnologías para reutilizar los relaves, con el fin de minimizar el impacto ambiental del sector minero y reducir las materias primas utilizadas en la construcción. Lograr estos objetivos generaría beneficios sociales significativos. Para este estudio, se generarán diversas mezclas y muestras de concreto a partir de una muestra de relaves mineros polimetálicos traída de una planta de flotación en La Libertad, Perú. Estas muestras se someterán a pruebas de asentamiento, pruebas de contenido de aire y pruebas de resistencia, entre otras.

JUSTIFICACIÓN

La minería es un sector clave en la economía peruana, representando el 8.7% del PIB, con importantes producciones de cobre, plata y oro. Hasta 2020, Perú ocupaba el segundo lugar mundial en producción de cobre y plata, y el octavo en oro, lo que resalta su relevancia en la creación de empleos y generación de ingresos fiscales.

Durante el ciclo de vida de la operación de esta actividad se generan residuos como los relaves mineros que son altamente contaminantes y perjudiciales para la salud de las personas y para la biodiversidad. Al ser una actividad tan relevante en la economía del Perú, esta se debería realizar de la manera más limpia posible asegurando la continuidad de los recursos naturales a través de una producción responsable. La economía circular se presenta como una solución para restaurar el equilibrio ambiental y económico en la minería. Utilizar relaves en la producción de materiales de construcción puede reducir el impacto ambiental de esta industria y ofrecer beneficios tanto para las empresas como para la sociedad.

HIPÓTESIS

El uso de relaves mineros polimetálicos en la generación de concreto es tecnológica y ambientalmente viable.

DISEÑO METODOLÓGICO

Tipo: Experimental

La presente investigación fue de tipo experimental debido a que se manipularon de manera deliberada una variable independiente (relave minero como agregado fino del concreto) para observar los efectos que se tienen las variables dependientes (propiedades del concreto).

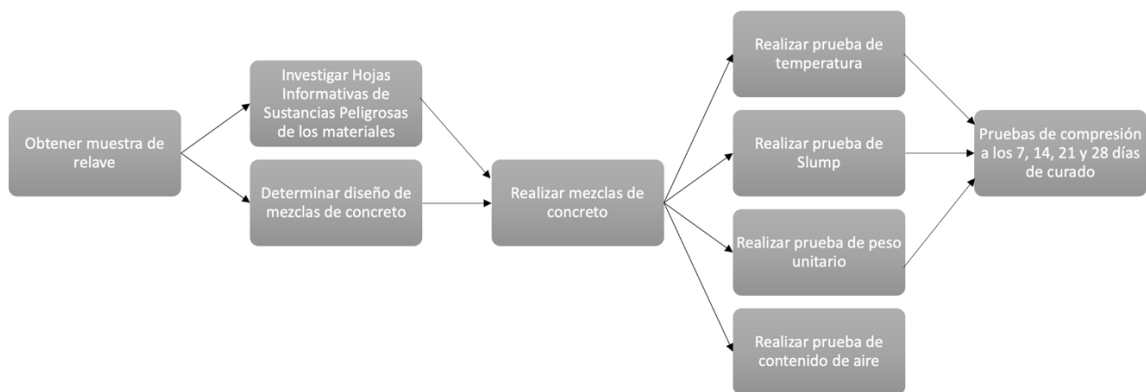
Enfoque: Cuantitativo

Se usó un enfoque cuantitativo, ya que se realizaron procesos organizados de manera rigurosamente secuencial, en los que se siguió el orden planteado de cada etapa. Se generaron preguntas e hipótesis, se determinaron variables y se generó un plan específico para medirlas en un contexto específico.

En esta investigación se llevó a cabo en flujo de actividades del siguiente diagrama:

Figura 1.1

Constructo del experimento



Primero, se tomó una muestra de relave de una planta de flotación que da servicios a mineros artesanales. Posteriormente, se determinó el diseño de mezclas de concreto en los que se reemplazó diferentes cantidades de agregado fino de arena por los relaves polimetálicos. Después de haber generado las diferentes mezclas de concreto con y sin agregado de relave minero, se realizaron las siguientes pruebas en concreto fresco: temperatura, peso unitario y prueba de contenido de aire y slump. Finalizadas estas pruebas, se hicieron pruebas de compresión en el concreto curado.

Debido a limitaciones de tiempo y materiales, se realizó sólo tres mezclas: una con puro agregado fino de arena (control) y dos con reemplazo de agregado fino por relave en las siguientes proporciones: 40% y 100%.

NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

Agradecemos a nuestros seres queridos por habernos brindado una educación de calidad y a nuestros profesore que nos formaron para ser profesionales competitivos.

REFERENCIAS

- ACI, 3. (2001). *Guide to curing concrete. Reported by ACI Committee, 308, 1-31.*
- ASTM International C 94/C94M (2019). *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete. Chapter 12 – Mixing and Delivery.*
- Charpentier Poncelet, A., Helbig, C., Loubet, P., Beylot, A., Muller, S., Villeneuve, J., and Sonnemann, G. (2021). *Life cycle impact assessment methods for estimating the impacts of dissipative flows of metals. Journal of Industrial Ecology, 25(5), 1177-1193.* doi:10.1111/jiec.13136
- Chaubey A. *Practical Concrete Mix Design.* New York NY: CRC Press; 2020. <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=6135198>. Accessed September 1, 2022.
- Chemstations (s.f.). *CHEMCAD NXT. What is CHEMCAD?* Recuperado el 16 de mayo de 2022, de <https://www.chemstations.com/CHEMCAD/>
- Cobos, L. Valle, A. (2021). *Estudio comparativo sobre el comportamiento mecánico del concreto con fibra de polietileno tereftalato (PET) reciclado y concreto con fibra de acero. Dominio de las Ciencias. Vol. 7, N° Extra 5, 798-818.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383807>
- Cui, L., Wang, L., Xu, Y., Lou, X., and Wang, H. (2021). *Feasibility evaluation of replacing river sand with copper tailings. Sustainability (Switzerland), 13(14)* doi:10.3390/su13147575
- García-Troncoso, N., Baykara, H., Cornejo, M. H., Riofrio, A., Tinoco-Hidalgo, M., and Flores-Rada, J. (2022). *Comparative mechanical properties of conventional concrete mixture and concrete incorporating mining tailings sands. Case Studies in Construction Materials, 16* doi:10.1016/j.cscm.2022.e01031
- Gou, M., Zhou, L., and Then, N. (2019). *Utilization of tailings in cement and concrete: A review. Science and Engineering of Composite Materials, 26(1), 449–464.* doi:10.1515/secm-2019-0029
- Greenberg, M., Cone, D., and Roberts, J. (1996). *Material safety data sheet: A useful resource for the emergency physician. Annals of Emergency Medicine, 27(3), 347-352.* doi:10.1016/S0196-0644(96)70272-X
- Gunaratne, T., Krook, J., and Andersson, H. (2022). *Market prospects of secondary construction aggregates in sweden. Journal of Cleaner Production, 360* doi:10.1016/j.jclepro.2022.132155
- Hernández Sampieri, R., and Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* McGraw-Hill. <http://www.ebooks7-24.com.ezproxy.ulima.edu.pe/?il=6443>
- Hillier, S., Sangha, C., Plunkett, B., and Walden, P. (1999). *Long-term leaching of toxic trace metals from Portland cement concrete. Cement and Concrete Research, 29(4), 515–521.* doi:10.1016/s0008-8846(98)00200-2
- Inacal. (2015). *NTP 339.034: Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.*
- Instituto Mexicano de Cemento y Concreto, A.C. (21 de junio de 2022). *Cemento Compuesto CPC 40.* <http://imcyc.com/aplicacion/>
- Instituto Peruano de Economía (s.f). *IPE: CÓMO IMPACTA LA MINERÍA EN LA PRODUCTIVIDAD DE PERÚ.* Recuperado el 16 de mayo de 2022, de <https://www.ipe.org.pe/portal/ipe-como-impacta-la-mineria-en-la-productividad-de-peru/>
- Kosmatka, S., and Panarese, W. (2006). *Determinación del tiempo de fraguado inicial y final del cemento.* <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/Fraguado%20inicial%20y%20final%20del%20cemento.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas (s.f.). *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros.* Recuperado el 2 de mayo de 2022, de https://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50
- Ministerio de Energía y Minas. (16 de mayo de 2022). *Productos Metálicos 2020.* https://www.minem.gob.pe/_estadistica.php?idSector=1&idEstadistica=12501
- Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Anuario Minero 2020.*

- <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1921117/Anuario%20Minero%202020.pdf.pdf>
 Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019). *Norma E.060 Concreto Armado*.
<https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>
- Nations, U. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs.
- Rios Zapana, P. (2019). *Ingeniería del Proceso de Beneficio*. Dirección Regional de Energía y Minas Moquegua. <http://www.energiayminasmoquegua.gob.pe/web/institucional/cursos-y-o-capacitaciones/200-diapositivas-del-curso-taller-para-la-elaboracion-de-expediente-tecnico-para-las-actividades-mineras-de-explotacion-y-beneficio-de-minerales>
- Romero Baylón, A., and Flores Chávez, S. (2010). *Caracterización de la pasta de relave para uso como relleno en labores mineras*. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 13(26), 37–42. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v13i26.427>
- Romero, A., Flores, S., and Medina, R. (2008). *Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa*. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*. Vol. 11, N.º 22, 13-16. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/RFIGMMG-22-1.pdf>
- Sanchez Guzmán, Diego (2004). *Artículo : Nuevas tendencias en la especificación y diseño de mezclas de concreto*. *Memorias técnicas : X Reunión del concreto*. Cartagena (Colombia).
- Valdez Loaiza, J., Aguilar Franco, J., Sánchez Vargas, L., Alatrística Góngora, G., and Figueroa Dianderas, A. (2020). *Design and implementation of an alternative process for the manufacture of bricks from gold mine tailings*. [Diseño e implementación de un proceso alternativo para la fabricación de ladrillos a partir de relaves mineros de oro] *Ingeniare*, 28(2), 268-276. doi:10.4067/S0718-33052020000200268
- Zabaleta García, H. (1992). *Manual de Aditivos: Adiciones y Protecciones del Hormigón*. Santiago: Instituto Chileno del cemento y el hormigón.
- Zevallos, J. (2016). *Estabilización del drenaje ácido de mina (DAM) de la empresa paraíso perdido APATA (tesis de maestría)*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Zhang, T., Zhao, Y., Wang, W., Yi, H., Li, H., Zhang, Q., and Song, S. (2017). *A novel model of aggregate gradation for autoclaved bricks from tailings*. *Minerals*, 7(7) doi:10.3390/min7070112

ANEXO.

Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Polymetallic Mining Tailings Reuse Within the Framework of Circular Economy for Concrete Production
- **Autores:** Salvador Carlos Montori Barba, Andrea Carolina Ojeda Zamudio
- **Co autor(es):** Juan Carlos Quiroz Flores

Presentación en congreso

- **Nombre del congreso:** Proceedings of the 5th Asia Pacific Conference on Industrial Engineering and Operations Management
- **Organizador:** IEOM
- **Sede:** Tokio, Japón
- **Año:** 2024
- **Pp:** 13 hojas
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):**




5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.