

ANEXO 9

Laura Sofía Meneses Núñez ^{1a,c}, Daniela Escobar Torres ^{2a,c}, Santiago José Ibarra Enriquez ^{3a,c}, Juan Camilo Núñez Navia ^{4a,c}

Mario Muñoz^{b,c}, Kathleen Salazar^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

TABLA XXXII.
RESUMEN REVISIÓN DE LITERATURA.

Tipo	Título	Autor (es)	Año	Industria	Objetivo	Método	Resultados	Aporte al Proyecto
Artículo de revisión.	Hazardous aluminum dross characterization and recycling strategies: A critical review [1].	M. Mahinroosta y A. Allahverdi.	2018.	Aluminio y construcción.	Describir, en primer lugar, diferentes tipos de escoria de aluminio, sus peligros ambientales y para la salud, composición y proceso de producción y luego se centra en los enfoques de reciclaje directo e indirecto y las estrategias de recuperación [1].	Revisión de literatura.	El tratamiento convencional de la escoria consiste en la recuperación de sal mediante lavado con agua y evaporación; y recuperación de metales de aluminio mediante trituración y tamizado. El residuo no metálico podría utilizarse en la producción de materiales de construcción o convertirse en productos de mayor valor agregado. Se comprobó que la escoria de aluminio se puede utilizar para la producción / mejora de diferentes compuestos y materiales [1].	Conocimiento acerca de las técnicas industriales estándar para tratar la escoria de aluminio y un espectro amplio de alternativas en las que puede ser utilizado el material con o sin el tratamiento previo.
Trabajo de investigación.	Autoclaved aerated concrete incorporating	Y. Liu, B. Leong, Z. Hu y E. Yang.	2017.	Concreto.	Utilizar escoria de aluminio como agente espumante en sustitución del costoso polvo de aluminio para	La escoria de aluminio se muele y se tamiza primero. Partículas por encima de 1,2 mm se introducen en el horno para	Los resultados muestran que 15,6 g de polvo de aluminio pueden generar la misma cantidad de gas que 1 g de polvo de	Evidencia de que después del proceso de molienda y tamizado, la escoria se puede utilizar como reemplazo de

	waste aluminum dust as foaming agent [2].				la síntesis de concreto celular ligero [2].	producir aluminio metálico, que posteriormente se cuela en lingotes. El residuo no metálico se recoge en ciclones y sistemas colectores de polvo. Para preparar las mezclas, se utilizó escoria de aluminio de grado industrial con 99,9% de pureza y un tamaño medio de partícula de 45 µm. Se mezclaron arena de sílice, yeso, agua, cemento Portland y cal. El agente espumante (escoria o polvo de aluminio), se añadió al final y la pasta fresca se vertió en moldes cúbicos.	aluminio y ambos tienen una tasa de generación de gas comparable. Por tanto, el polvo de aluminio puede considerarse como un agente espumante alternativo para la producción de concreto celular ligero [2].	polvo de aluminio en la producción de concreto celular.
Trabajo de investigación.	Eco-concrete for sustainability: utilizing aluminium dross and iron slag as partial replacement materials [3].	S. Javali, A. Chandrashekar, S. Naganna, D. Manu, P. Hiremath, H. Preethi y N. Vinod Kumar.	2017.	Concreto.	Utilizar la escoria de aluminio y la escoria de hierro granular como materiales de reemplazo parcial del cemento y la arena natural, respectivamente, para desarrollar el eco-concreto [3].	Se utilizó un tamiz de 90 µm. La escoria de aluminio lavó con agua desionizada para disolver las sales inorgánicas y alcalinas presentes en la muestra. Los residuos de escoria no disueltos se separaron luego de la solución alcalina por filtración y se secaron al sol. Se produjeron nueve mezclas con diferentes proporciones de contenido de cemento, escoria de aluminio, arena y escoria de hierro granular. La escoria de aluminio se reemplazó al 5, 10, 15 y 20% del peso del cemento [3].	Se determinó que la dosis óptima de escoria de aluminio y escoria de hierro era de aproximadamente el 5% y 20% respectivamente. Este porcentaje de sustitución no causará ningún daño a las propiedades del concreto y la resistencia a la compresión se mantuvo próxima a la del concreto normal [3].	Conocimiento acerca del lavado que se le debe hacer a la escoria y cual es la dosis óptima de reemplazo en el cemento para que el concreto que se produzca no pierda sus propiedades.
Trabajo de investigación.	Mechanical and durability aspects of concrete incorporating secondary aluminium slag [4].	M. Reddy y D. Neeraja.	2016.	Concreto.	Estudiar los aspectos mecánicos y de durabilidad del concreto incorporado	Antes de utilizar el residuo en el concreto, se molió y tamizó utilizando un tamiz de 90 µm. Las muestras	Se observa que hasta en un 15% de sustitución de cemento por escoria secundaria de aluminio, las respuestas son	La técnica de tratamiento que se le debe hacer a la escoria es molienda, tamizado y apagado. Se demostró que hasta con 15% de reemplazo, las propiedades mecánicas y de

					con escoria secundaria de aluminio [4].	recogidas se trataron con agua. La escoria secundaria de aluminio se reemplazó en varios porcentajes de cemento en peso. Los porcentajes incluyen 5%, 10%, 15%, 20% y 30% [4].	comparables con el concreto convencional. También se han realizado estudios mediante la adición de otros materiales cementosos suplementarios como cenizas volantes y humo de sílice en diversas proporciones junto con escoria de aluminio secundaria y se han encontrado propiedades mecánicas y de durabilidad mejoradas. Del estudio general, se puede concluir que el concreto incorporado con escoria de aluminio secundaria se puede utilizar para hacer adoquines, ladrillos refractarios y para aplicaciones normales de resistencia del concreto [4].	durabilidad del concreto no disminuyen significativamente, además la escoria retrasa los tiempos de fraguado del concreto y cuando se utiliza con otros aditivos como humo de sílice y cenizas volantes, se observan propiedades mecánicas y de durabilidad mejoradas.
Trabajo de investigación.	Investigation of concrete produced using recycled aluminium dross for hot weather concreting conditions [5].	G. Mailar, S. N, S. B.M, M. D.S, P. Hiremath and J. K.	2016.	Concreto.	Examinar la viabilidad de usar concreto mezclado con escoria de aluminio en situaciones de hormigonado en climas cálidos y luego evaluar los aspectos de resistencia y durabilidad del concreto producido [5].	La escoria recogida se pulverizó finamente usando un pulverizador de impacto y se tamizó con un tamaño de tamiz IS de 150 µm para obtener un material finamente triturado (en polvo) que luego se utilizó en la producción de concreto. Los tamices conforme a IS: 460-1962 se utilizaron para realizar la prueba estándar de “análisis de tamaño de partícula” con el fin de determinar las proporciones relativas de diferentes tamaños de grano distribuidos entre	El tiempo de fraguado inicial del concreto de escoria de aluminio reciclado se prolongó unos 30 minutos a un nivel de sustitución del 20%. Esta propiedad lo hace adecuado para condiciones de hormigonado en climas cálidos. La sustitución del cemento por un 20% de escoria arroja características mecánicas y de durabilidad superiores [5].	Sugerencia de los equipos que se deben utilizar para tratar la escoria y el tamaño de partícula que se debe obtener para lograr resultados favorables en la producción de concreto.

						ciertos rangos de tamaño. Los tamaños de partícula en la escoria varían desde menos de 45 μm hasta 150 μm con un tamaño de partícula típico que mide menos de 90 μm . Las mezclas de prueba se diseñan reemplazando parcialmente el cemento con escoria de aluminio a un nivel de reemplazo de 0%, 10%, 20% y 30% [5].		
Trabajo de investigación.	Fabrication and Characterization of Aluminum Dross-Containing Mortar Composites: Upcycling of a Waste Product [6].	C. Dai y D. Apelian.	2016.	Mortero.	Evaluar y explorar el uso de la escoria de aluminio como refuerzo de material refractario en morteros [6].	Los materiales de escoria se lavaron primero en agua destilada para limpiar cualquier contaminante suelto. La escoria lavada se secó en una placa calefactora durante aproximadamente 6 h. Finalmente, la escoria se tamizó en cuatro clases de tamaño de partícula diferentes: [600, 600–300, 300–150 y <150 μm]. Tanto los materiales de escoria tal como se recibieron como los lavados se mezclaron con cemento Portland en lotes separados para determinar la viabilidad de incorporar escoria en los componentes de mortero estructural [6].	Las evaluaciones de propiedades mecánicas muestran la viabilidad de los residuos de escoria Tipo I (obtenidos de la fundición primaria) para ser utilizados como un agregado activo en el mortero, lo que resulta en hasta un 40% más de resistencia a la flexión y un 15% más de resistencia a la compresión en comparación con el cemento puro. Aunque la fracción de desechos de escoria de Al que se puede agregar a los refractarios es pequeña (* 10%), el mercado potencial para reciclar y reutilizar la escoria de Al es significativo [6].	Instrucciones de como se debe realizar el proceso de apagado del residuo y el porcentaje optimo de reemplazo que se debe utilizar en el cemento para mejorar las propiedades del mortero que se produzca.
Trabajo de investigación.	Tailoring of magnesium aluminum titanate-based ceramics from aluminum dross [7].	E. Ewais y N. Besisa.	2018.	Cerámicos.	Confeccionar cerámicas a base de titanato de magnesio y aluminio a partir de escoria de aluminio y mineral rutilo [7].	Se utilizó la escoria de tamaño de partícula <90 μm como fuente de Al_2O_3 y MgO y mineral de rutilo 2.384 μm , como fuente de TiO_2 . Se prepararon siete lotes con diferentes adiciones de	Los mejores valores de densificación y propiedades mecánicas se obtuvieron para una muestra de rutilo agregado al 20% y una cocción de 6 h.	Se establece el tratamiento hidrometalurgico que se le hace a la escoria antes de ser utilizada exitosamente en la producción de cerámicas y cual es el porcentaje optimo de utilización.

						<p>rutilo a la escoria (0-60%) con un incremento del 10%. Los polvos se mezclaron usando un molino de bolas húmedo durante 1 h en un medio acuoso. Posteriormente, los polvos mezclados se trataron en agua hirviendo con agitación para eliminar todas las impurezas solubles en agua y luego se lavaron cuidadosamente con agua fría. Después de secar las suspensiones de agua de la fracción no soluble de polvos, las mezclas se tamizaron adicionalmente (300 μm) y luego se formaron en cuerpos cilíndricos. Los materiales sinterizados se obtuvieron finalmente mediante cocción a 1300 °C para diferentes intervalos (2, 4 y 6 h). La escoria se aplicó directamente, sin calcinación previa [7].</p>	<p>La sinterización en estado sólido de desechos de escoria de aluminio y mineral de rutilo puede considerarse una forma prometedora de producir un nuevo material cerámico avanzado. Además, el uso de estos residuos tiene impactos sobre la naturaleza y el sobre el costo de producción [7].</p>	
Trabajo de investigación.	Utilization of aluminum dross: Refractories from industrial waste [8].	P. Ramaswamy, S. Gomes y N. Ravichander.	2019.	Refractarios.	<p>Explorar el potencial para sintetizar las características del contenido favorable de escoria de aluminio y su disponibilidad (en toneladas) a través de la síntesis de refractarios y así desarrollar un producto de valor agregado útil para las industrias modernas [8].</p>	<p>El polvo de escoria de aluminio fue tamizado a través de tamices de malla ASTM 25 para eliminar las partículas gruesas. La escoria tamizada se utilizó como material de partida para un procesamiento posterior que involucró dos métodos. En un método (a) la escoria se utilizó tal cual para su procesamiento posterior, mientras que en el segundo método (b) la escoria tamizada se lavó a 200 °C, lo que resultó en la generación de</p>	<p>Los pellets de escoria de Al, calcinados a 700°C y 1000°C (para facilitar la eliminación progresiva de las fases no deseadas) y sinterizados a 1500°C, se sometieron a análisis XRD, SEM y EDS que confirmaron la eliminación completa de AIN de la escoria y presencia de las fases deseadas más adecuadas para refractarios es decir, óxido de aluminio (Al_2O_3) y espinela ($MgAl_2O_4$). La idoneidad del producto</p>	<p>Conocimiento sobre los métodos de tratamiento hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos para eliminar las fases indeseadas de la escoria y su aplicación exitosa en la producción de refractarios resistentes a altas temperaturas.</p>

						gases como el amoníaco (NH_3) y cloruros evaporados, luego se siguió procesando con el objetivo de eliminar los nitruros. A partir de ahí, las dos partes se procesaron por separado, lo que implicó calcinación, mezcla con aglutinante orgánico (PVA), compactación en pellets (15 mm de diámetro) y sinterización final [8].	desarrollado para adaptarse a una aplicación refractaria se confirmó mediante ciclos de choque térmico del producto sinterizado en aluminio fundido. Estos hallazgos sugieren fuertemente las perspectivas favorables del uso de escoria de aluminio (después de la lixiviación de las fases indeseables) como refractarios en las industrias de fundición de metales [8].	
Artículo de revisión.	Harmless disposal and resource utilization for secondary aluminum dross: A review [9].	H. Shen, B. Liu, C. Ekberg y S. Zhang.	2021.	Aluminio y construcción.	Comparar el proceso hidrometalúrgico con el pirometalúrgico [9].	Revisión de literatura.	Se evaluó el consumo de recursos y las emisiones de ambos métodos de utilización. Una tonelada de cerámica a base de titanato de magnesio y aluminio por pirometalurgia consume 1043 kg de materias primas y libera 69 kg de gas residual, 4,17 t de agua residual y ningún residuo sólido. Una tonelada de $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ por hidrometalurgia consume 3389 kg de materias primas y libera 111 kg de gases residuales, 12,98 t de aguas residuales y 267 kg de residuos sólidos. Por lo tanto, el consumo de recursos y las emisiones por pirometalurgia son menor que por hidrometalurgia. Sin embargo, la eliminación de AlN y sales sigue	Se exponen las diferentes técnicas de tratamiento que le han dado a la escoria en diversos estudios y se encuentra que el método mas aceptado es la eliminación de AlN y sales por proceso de lavado. Además se analizan las diferentes alternativas de aplicación de este residuo con sus respectivos beneficios.

							siendo necesaria en el proceso hidrometalúrgico (lavado) [9].	
Trabajo de investigación.	Evaluation of the Mechanical Properties of Polypropylene-Aluminum-Dross Composite [10].	S. Adeosun, M. Usman, W. Ayoola y I. Sekunowo	2012.	Plástico.	Mejorar las propiedades mecánicas del polipropileno (PP) mediante la adición de escoria de Al en 2–50% en peso para tamaños de partículas de 53 µm y 150 µm [10].	Los grumos de escoria de Al se trituraron y se tamizaron en partículas de tamaño de 53 µm y 150 µm. Las masas de escoria de Al utilizadas son 2, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50% en peso del PP. El gas de campo doméstico se adaptó como horno de fusión para el PP y el crisol de fusión se dejó secar antes de verter en él el polipropileno medido. El crisol y su contenido se calentaron hasta el estado fundido (176 ° C) mientras se agitaba con la ayuda de la varilla mezcladora para una distribución homogénea del calor alrededor de la circunferencia del crisol. Cuando el PP se hubo licuado completamente, se vertió la escoria de Al en el PP fundido y se mezcló minuciosamente utilizando el agitador de varilla. Luego, la mezcla se calentó durante otros veinte segundos (para evitar que se quemara en cenizas) antes de verterla en el molde de metal [10].	Los resultados obtenidos muestran que la resistencia a la tracción máxima mejoró en un 68% (al 15% en peso de adición de escoria de Al), la densidad aumentó en un 54% (al 50% en peso de adición de escoria de Al) y la absorción de agua en un 500% (al 8% en peso de escoria de Al, además) sobre el PP convencional. Se encontró que la resistencia al impacto del material compuesto era la misma (68 J) que la del PP convencional al 15% en peso de escoria de Al. Para obtener una propiedad óptima de impacto, resistencia a la tracción y tenacidad, el porcentaje de escoria de Al que se utilizará es una adición de 15% de escoria de Al para un tamaño de grano de 150 µm y / o una adición de 20% de escoria de Al para un tamaño de grano más fino de 53 µm [10].	Este estudio muestra que la escoria de Al es adecuada para reforzar el PP, pues mejora sus propiedades y que es una verdadera forma de abordar el desafío medioambiental del plantea.

Referencias

- [1] M. Mahinroosta and A. Allahverdi, "Hazardous aluminum dross characterization and recycling strategies: A critical review", *Journal of Environmental Management*, vol. 223, pp. 452-468, 2018 [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718307205#bib3>. [Accessed: 21- May- 2021]
- [2] Y. Liu, B. Leong, Z. Hu and E. Yang, "Autoclaved aerated concrete incorporating waste aluminum dust as foaming agent", *Construction and Building Materials*, vol. 148, pp. 140-147, 2017 [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817309376#b0075>. [Accessed: 20- May- 2021]
- [3] S. Javali, A. Chandrashekar, S. Naganna, D. Manu, P. Hiremath, H. Preethi and N. Vinod Kumar, "Eco-concrete for sustainability: utilizing aluminium dross and iron slag as partial replacement materials", *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 19, no. 9, pp. 2291-2304, 2017 [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-017-1419-9>. [Accessed: 23- May- 2021]
- [4] M. Reddy and D. Neeraja, "Mechanical and durability aspects of concrete incorporating secondary aluminium slag", *Resource-Efficient Technologies*, vol. 2, no. 4, pp. 225-232, 2016 [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405653716301907>. [Accessed: 21- May- 2021]
- [5] G. Mailar, S. N, S. B.M, M. D.S, P. Hiremath and J. K., "Investigation of concrete produced using recycled aluminium dross for hot weather concreting conditions", *Resource-Efficient Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 68-80, 2016 [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405653716300306>. [Accessed: 20- May- 2021]
- [6] C. Dai and D. Apelian, "Fabrication and Characterization of Aluminum Dross-Containing Mortar Composites: Upcycling of a Waste Product", *Journal of Sustainable Metallurgy*, vol. 3, no. 2, pp. 230-238, 2016 [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40831-016-0071-7>. [Accessed: 21- May- 2021]
- [7] E. Ewais, N. Khalil, M. Amin, Y. Ahmed and M. Barakat, "Utilization of aluminum sludge and aluminum slag (dross) for the manufacture of calcium aluminate cement", *Ceramics International*, vol. 35, no. 8, pp. 3381-3388, 2009 [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884209002612?via%3Dihub>. [Accessed: 19- May- 2021]
- [8] P. Ramaswamy, S. Gomes and N. Ravichander, "Utilization of aluminum dross: Refractories from industrial waste", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 577, p. 012101, 2019 [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/577/1/012101>. [Accessed: 20- May- 2021]
- [9] H. Shen, B. Liu, C. Ekberg and S. Zhang, "Harmless disposal and resource utilization for secondary aluminum dross: A review", *Science of The Total Environment*, vol. 760, p. 143968, 2021 [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720374994#bb0300>. [Accessed: 20- May- 2021]
- [10] S. Adeosun, M. Usman, W. Ayoola and I. Sekunowo, "Evaluation of the Mechanical Properties of Polypropylene-Aluminum-Dross Composite", *ISRN Polymer Science*, vol. 2012, pp. 1-6, 2012 [Online]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/282515/>. [Accessed: 21- May- 2021]



Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil e Industrial
Proyecto de diseño