

## ANEXO 6

Laura Sofía Meneses Núñez <sup>1a,c</sup>, Daniela Escobar Torres <sup>2a,c</sup>, Santiago José Ibarra  
Enriquez <sup>3a,c</sup>, Juan Camilo Núñez Navia <sup>4a,c</sup>

Mario Muñoz <sup>b,c</sup>, Kathleen Salazar <sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial

<sup>b</sup>Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

<sup>c</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

Entrevista con Profesor Experto	
Fecha de la Entrevista	27 de abril de 2021
Objetivo de la Entrevista	Sustentar la aplicación del proyecto con base en la palabra de un profesor experto.
Nombre del Entrevistado	Manuel Alejandro Rojas Manzano
Cargo del Entrevistado	Director de la maestría en ingeniería civil PUJ
Formación Académica	Doctor en estructuras y construcción civil
Temas por Tratar	
1	<b>Datos Generales del Entrevistado:</b> Ingeniero civil de la universidad del Cauca (2004), trabajo en construcción hasta el 2011, especialización en administración de empresas de construcción (2008-2010), maestría en Brasil (2011-2012), doctorado en construcción (2012-2016), profesor área materiales de construcción en Brasil, profesor en Universidad Javeriana Cali, trabaja con consultorías y proyectos de economía circular, dirige un semillero de investigación sobre residuos industriales para implementar en el cemento.
2	<b>Contextualización del Proyecto:</b> Se le debe contar al entrevistado qué es la escoria de aluminio, la importancia ecológica de recuperar este residuo y la viabilidad económica que se pretende obtener al darle un valor agregado. El objetivo del proyecto es diseñar un proceso para la reutilización de la escoria de aluminio.
3	<b>Comentarios del Experto:</b>
4	<b>Ronda de Preguntas:</b>
	1. <b>¿Qué conoce sobre la escoria de aluminio?</b> Nosotros alguna vez hicimos un proyecto para estudiar la escoria de aluminio como uso para el reemplazo de cementos, trabajé con un estudiante de maestría, pero no pudimos conseguir el material. Yo conozco las plantas de aluminio, conozco el residuo, tenemos una publicación en un congreso internacional que hubo el año pasado que hice con estudiantes de ingeniería en donde se hizo una revisión del estado del arte, ahí se muestran todas las etapas de producción del acero, de dónde viene la escoria porque hay tres tipos de escoria, escoria blanca, escoria salt cake y escoria “más oscura” o negra, esa es la que vamos a reaprovechar porque la idea es retirar toda la cantidad máxima de aluminio que se pueda que es un proceso que ya se realiza internamente en las plantas hasta que ya queda solo la escoria, que como su nombre lo indica es un residuo que se genera después de la fabricación de aluminio entonces los minerales a través de los cuales se extrae el aluminio tiene unas impurezas y eso es lo que queda en la escoria. <b>¿Cuál es su composición química?</b> Principalmente óxido de aluminio y otras impurezas como metales pesados, puede tener también cal debido al proceso de fabricación del aluminio, entre

otros. En la revisión que nosotros encontramos puede tener del 5% al 7% de aluminio, del 15% al 30% de óxido de aluminio como tal, del 30% al 55% de cloruro de sodio y del 15% al 30% de cloruro de potasio. Eso va a depender en gran medida del tipo de chatarra que fue la base para la producción del aluminio, hay dos maneras de producir aluminio, la clásica es a través de un mineral que se llama bauxita y la segunda manera es reciclando. Creo que el proceso que hay aquí en Alúmina en Cali es a través del reciclaje, así que dependiendo del tipo de chatarra que uno recicle también va a ser la composición del aluminio. Las caracterizaciones de estos materiales se hacen a través de una técnica que es la fluorescencia de rayos x, que te va a entregar la composición química del material a través de óxidos. **¿Cuáles son sus propiedades físicas y químicas?** Es un material que tiene elevada dureza precisamente por su composición, puede ser reactivo y dependiendo especialmente del tamaño de partícula uno podría creer que tiene buen potencial para su aplicación como base del cemento.

**2. ¿Tiene alguna experiencia en el aprovechamiento de este residuo o la implementación de economía circular en el sector industrial? De ser así, ¿Cuál es la percepción actual del mercado?** Desde mi experiencia con el residuo ha sido muy primaria, por eso se llevó a cabo una revisión del estado del arte con mis estudiantes, lo conozco de primera mano porque ya visite una empresa pero cuando hablas de experiencia con otros materiales, sí, he trabajado especialmente con escorias pero de la industria del acero, escoria negra, un caso muy parecido al que ustedes quieren evaluar, la gran diferencia entre estos materiales además de su composición química es que uno es catalogado como peligroso y el otro no, pero si tengo experiencia en poder hacer la implementación de residuos industriales como incorporarlos en la industria de la construcción a través de ya sea retazos de cemento o como agregados, que es el otro fin que uno podría explorar, tengo experiencia con eso, con cenizas volantes, con residuos de construcción o demolición que son de la misma industria. Específicamente hablando de la industria cementera, ellos son muy abiertas porque la industria cementera tiene un fin grande y es disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> o sea los de gases de efecto invernadero, entonces desde que ellos puedan tener un material que reemplace al cemento y que no tenga unas consecuencias tan negativas pues ellos van a intentar incorporarlo en la industria, además el proceso de fabricación del cemento es muy costoso entonces si ellos pueden tener ya un material que por ejemplo a través de qué sé yo, operaciones sencillas como un tamizado o molienda o trituración puede llegar a reemplazar parte del cemento yo sé que lo van a hacer. Es muy factible hacerlo, y el cemento produce el 7% de emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo, la producción de cemento es supremamente impresionante, difícilmente un residuo va a poder acompañar la cantidad de cemento que se puede producir. En términos de mercado uno podría decir que el cemento va a recibir cualquier residuo desde que se haga una evaluación de sus afectaciones en las propiedades del material que se va a fabricar, en términos de mercado es super interesante.

**3. ¿Cuáles podrían ser materiales potenciales en los que se pueda implementar este tipo de residuo? (Clientes potenciales)** Existe otro mercado potencial, además de las cementeras. En el documento que te mencione hay distintos usos sobre todo si nos enfocamos en la escoria negra o en la escoria salt cake, donde puede servir como aditivo para el concreto, puede servir también como agregado y como es poroso puede ser aislante térmico, se puede fabricar hasta cemento a base de ese tipo de material, se puede fabricar concreto celular, también con revisión en la literatura se pueden fabricar paneles prefabricados, morteros pero especialmente seria reemplazo de cemento y reemplazo del agregado fino o de la arena. **En el**

**caso de los cementos, ¿Cuáles serían sus beneficios?** Son varios beneficios, el primero tiene que ver con el tema de sostenibilidad, la industria cementera está muy preocupada por el impacto que está causando, el cemento se fabrica a través de extraer y procesar recursos naturales no renovables como la roca caliza entonces si yo puedo empezar a disminuir esa extracción al reemplazar cemento por un residuo industrial pues yo tendría un doble beneficio porque estaría dándole uso a un residuo que es un problema industrial como lo es la escoria de aluminio y por el otro lado porque estoy disminuyendo la cantidad de cemento que se está fabricando y por ahí salen varios otros beneficios, el primero de ellos disminución de los recursos naturales no renovables que se están extrayendo, segundo disminución de la energía que se necesita para la producción de cemento y tercero, disminución de los gases de efecto invernadero de la huella de carbono. Entonces desde el punto de vista sustentable o sostenible, es muy fácil de ver o sustentar este tipo de materiales porque en últimas tu estas cogiendo un residuo hasta catalogado como peligroso y lo estas implementando en otra industrial. Doble beneficio por lado y lado.

**4. ¿Qué características cualitativas y cuantitativas debe tener la escoria para poder ser aprovechada en esta industria (para qué sirve medir esto, meta y forma de medir la composición química, tipo y parámetros de molienda y tamaño de partícula)?** Desde la composición nosotros sabemos que la escoria puede tener un potencial muy alto porque tiene alúmina, la alúmina es el óxido de aluminio y ese óxido de aluminio puede tener un comportamiento que nosotros llamamos puzolánico. Si contiene material amorfo como la alúmina o el óxido de aluminio amorfo, desde lo químico es lo ideal. La otra parte importante cuando hablamos de cementos es que necesitamos materiales finos, en polvos, entonces sería trascendental que este material pueda ser lo más fino posible para que además de un efecto químico tenga un efecto físico. Esas son las dos variables más importantes, su composición y el tamaño de partícula. Adicional al tamaño de partícula sería importante mirar la morfología de la partícula. Es importante comentarte que esta escoria tiene una particularidad y me parece interesante para su proyecto, este tipo de escoria tiene una particularidad dentro del proceso que están diseñando y es el apagado, hay que diseñar también ese proceso porque puede producir gases que en algunas concentraciones son perjudiciales para la salud humana. La meta sería eliminar los nitratos completamente, estos pueden tener un efecto positivo solo en materiales porosos, es decir, materiales que incluyen mucho aire. Lo ideal es irse por la aplicación típica con concretos que no requieren aire. En cuanto al tamaño de partícula, yo diría que debería quedar retenido un porcentaje menor al 30% en un tamiz 325, si asocio ese material a la normativa de otro material muy parecido. **¿Qué propiedades debería aportar este residuo al cemento?** Hay dos tipos de efectos, uno físico que dependerá del tamaño de partícula y uno químico que es lo que esperamos que sea importante y es el efecto puzolánico o la reacción con un compuesto que se forma después de que se hidrata el cemento.

**5. ¿Qué tratamiento se le debe realizar a la escoria para ser aprovechada como un subproducto?** El profesor menciona el mismo proceso planteado por el equipo, en general, un proceso de lavado o apagado, menciona que el proceso de calcinado puede ser interesante desde el enfoque investigativo, pero puede incrementar los costos en el enfoque práctico, un proceso de molienda en el cual dice que deberíamos establecer la mejor opción que tenga el menor gasto energético y, por último, el tamizado en el cual se examinara el tamaño de la partícula. Además, menciona que dependiendo del tipo de escoria a utilizar puede ser necesario un proceso de trituración inicial, tamizado y luego si molienda y tamizado de nuevo.

- |  |
|--|
| <p>6. <b>¿Cuál sería la reglamentación o normativa exigida para poder hacer uso de un residuo considerado peligroso?</b> Sugiere contactarse con la profesora Adriana Gómez. <b>¿Cuáles normativas debe cumplir la escoria de aluminio para su utilización en la industria cementera?</b> Una norma de un material que también es un residuo, la vamos a usar para guiarnos con el uso de la escoria de aluminio NTC3493, esta es la misma pero americana ASTM C618</p>  |
| <p>7. <b>¿Cuáles son las limitaciones que encuentra en el uso de este residuo?</b> Se debe garantizar que este residuo pase de ser un residuo peligroso a un residuo no peligroso, desde mi punto de vista otra posible limitación podría ser la inversión que uno como posible comprador tendría que hacerle al residuo o si yo como productor de aluminio estaría dispuesto a hacerle este proceso. Desde la industria cementera el gran problema sería el tema de la formación de los gases, si no se lava bien ese material y produce gases y eso no es lo que yo quiero porque me puede afectar lo principal para mí que son las propiedades mecánicas. Otra limitación es que no tenemos datos todavía de si este material tiene una alta dureza y deba hacerse algún procedimiento especial para la molienda.</p> |