

ID 115 Análisis del potencial de aprovechamiento de agregado fino reciclado proveniente de escombros de obras civiles.

Juan Manuel Vargas Sánchez,

Universidad de Costa Rica, San Pedro, Montes de Oca. Juan.vargassanchez@ucr.ac.cr

Nidia Cruz Zúñiga

Universidad de Costa Rica, San Pedro, Montes de Oca. Nidiacruz@ucr.ac.cr

Abstract.

Se presentan los resultados parciales de una investigación experimental respecto al potencial uso de escombros para producir agregados finos (arenas) que puedan ser utilizados en la producción de nuevos concretos. El fin de la investigación es generar evidencia científica que apoye la inclusión de criterios de economía circular en la gestión de residuos sólidos de la construcción.

Key words: circular economy, construction waste, recycled aggregates, recycled sands.

1 Introducción.

La explotación de materiales áridos para la industria de la construcción genera un impacto significativo al ambiente, ya que demanda un recurso no renovable que se agota cada vez más rápidamente. Según un reporte sobre la sostenibilidad del uso de áreas (Programa para el Ambiente de las Naciones Unidas, 2019) se estima que en el mundo los ríos han tenido una reducción entre el 50% y el 95% en términos de arena y grava que aportan a los mares. El sector construcción es el principal demandante de agregados naturales, lo que se evidencia en números por el consumo de estos, que pasó de 21 mil millones de toneladas en el 2007 a 40 mil millones de toneladas en el 2014 (Tam et al., 2018). Resultado de los patrones de consumo en la construcción y del rápido crecimiento de las urbes alrededor del mundo, los recursos naturales cada vez escasean más y nace la necesidad de buscar medios alternos, en particular para la construcción. Es ahí donde el reciclaje y reuso de los escombros cobra mayor importancia. Según Tam et al, (2018), esto aún no se hace en los países en desarrollo debido a la ausencia de regulaciones de ley y falta de conocimiento en el tema. Aunado a ello, Cruz (2016) indica que en Costa Rica el bajo costo del agregado natural también representa una traba para que se establezca un mercado para los agregados reciclados.

En lo que respecta al ámbito costarricense, el sector construcción presenta una tendencia creciente en los últimos años (CFIA, 2024) sin embargo, no aún logra recuperarse a sus niveles pre-pandémicos. Las métricas muestran un decrecimiento de aproximadamente 14% al comparar los millones de metros cuadrados construidos el año 2019 contra los del 2023, donde se construyeron, respectivamente, 10.6 millones de metros cuadrados y 9.1 millones de metros cuadrados (CFIA, 2024).

Existe la necesidad de que países en desarrollo reduzcan el uso de las arenas tradicionales y empiecen a utilizar agregados finos reciclados de otras fuentes. Investigaciones a nivel global establecen la importancia de que en cada país se valoren algunas opciones a la arena tradicional, y establecen que la utilización del escombro para reusarlo en la producción de arenas es una de las principales vías. Además de esto, el programa para el ambiente de las Naciones Unidas establece que el uso de políticas integrales y estratégicas deben ayudar tanto con el uso responsable de las arenas naturales como con la búsqueda de nuevas alternativas para este recurso (ONU, 2022)

Por otro lado, la generación de residuos de construcción es directamente proporcional al desarrollo de edificaciones, más aún si se hace de manera desmedida y sin conciencia. Según Leandro (2007), la generación de residuos sólidos en la construcción está directamente relacionado con el crecimiento de los pueblos, porque estos se generan cuando la construcción crece y las personas cambian sus hábitos constructivos. Analizando el caso de las zonas urbanas en Costa Rica, por medio de estudios realizados a proyectos de construcción de viviendas, se ha podido evidenciar que se generan residuos sólidos de construcción que tienen la oportunidad de ser valorizados (metales, escombros, plásticos entre otros) en porcentajes importantes, pero que aún no se reciclan formalmente en el país (Bolaños, 2021; Marín, 2021; Rímolo, 2021)

Debido a todas las razones anteriormente descritas, las investigaciones en materia de reciclaje de escombros

se tornan relevantes, particularmente en Costa Rica, donde el tema no se ha explorado fuertemente (Rodríguez y Cruz, 2023; Ramírez y Cruz, 2021; Cruz, 2022). El fin de la presente investigación es caracterizar el agregado fino reciclado para definir su potencial de reutilización en nuevos concretos que cumplan con los parámetros de diseño de la normativa técnica nacional vigente.

2 Objetivos.

La presente investigación forma parte de un grupo de trabajo donde la idea central es la reutilización de los escombros en la construcción. En este grupo ya se logró caracterizar el agregado grueso reciclado, los efectos del reciclaje cíclico de agregados y ahora, se está caracterizando el agregado fino como parte de un proyecto final de graduación para obtener el grado de licenciatura en ingeniería civil. El objetivo de esta fase es:

- Caracterizar el agregado fino reciclado proveniente de diversas fuentes de escombros (mampostería, concreto colado in situ y elementos prefabricados), para ser utilizado en nuevos concretos.

Los objetivos específicos de esta etapa son los siguientes:

- Determinar las características físicas y mecánicas de arenas recicladas de escombros provenientes de las distintas fuentes de concreto.
- Comparar las características físicas y mecánicas de los concretos nuevos producidos utilizando agregados finos reciclados provenientes de distintas fuentes y los concretos consolidados con agregado fino virgen.
- Evaluar la resistencia de especímenes cilíndricos de concreto usando un 25%, 50%, 75% y 100% de agregado fino reciclado.

Al momento de presentar este artículo la investigación se encuentra en proceso, por lo que se muestran los resultados que se tienen al momento. Se espera que para la fecha del congreso se cuente con más información que sería incluida en la ponencia.

3 Metodología.

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Agregados y Concretos del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme-UCR). El proyecto consistió de dos fases:

Primeramente, se hizo la preparación de los materiales, lo que abarca la selección de los escombros a triturar, su trituración y la formación de las distintas arenas recicladas. Todos estos escombros fueron recuperados del botadero del Lanamme-UCR. El residuo de concretos colados in situ consistió en cilindros de

falla según normativa ASTM C192. En este momento se tuvo que hacer distinción por peso, ya que en el laboratorio se estaban llevando a cabo pruebas con concretos aligerados y estos concretos no podían ser considerados representativos de la realidad nacional. Además de esto, no se hizo ningún tipo de discriminación por tipo de concreto. Con respecto a los bloques de mampostería no se logró determinar ni la clase ni el tamaño de estos de manera específica. Toda la mampostería reciclada tenía que cumplir solamente con el requisito de no ser mampostería rellena. Con esta premisa, se recolectaron los trozos necesarios para la generación de la arena. Estos trozos tenían la peculiaridad de venir con concreto pobre del capeo de falla, este se trató de quitar lo más posible. El tercer tipo de escombros proviene de elementos prefabricados que fueron provistos por el laboratorio de estructuras del Lanamme-UCR. Estos consistieron de 3 baldosas de pared prefabricada de aproximadamente 60 Kg cada una. Estas baldosas requerían ser pulverizadas hasta un tamaño aceptable para la moladora con la que se trabajó. En esta etapa, se aprovechó para retirar y desechar todo el refuerzo interno y separadores.

Una vez que se tuvieron los escombros para la molienda, se procedió al procesamiento de las arenas haciendo uso de un triturador de percusión marca "MASSCO" y una malla #4, la cual fue utilizada para el tamizado de las muestras y eliminar el sobretamaño. En total, se molieron 4 cubetas de cada tipo de agregado fino para un total de 100 Kg de arena por tipo de fuente aproximadamente.

Posteriormente, con las arenas recicladas listas, se procedió con los ensayos de laboratorio pertinentes para su caracterización. En esta etapa, por lo tanto, se caracterizaron 4 agregados finos: Arena procedente de concretos colados in situ, arena procedente de elementos de mampostería, arena procedente de elementos prefabricados, arena virgen industrial y agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 12.7 mm.

i. Detalles de las pruebas de laboratorio.

Todas las pruebas de laboratorio fueron hechas según las normas descritas en la Asociación Americana para Testeo de Materiales (ASTM por sus siglas en inglés). Se utilizaron los siguientes ensayos para la caracterización:

- Lavado del agregado según ASTM C117-23.
- Granulometría según lo estipulado en ASTM C136M-19
- Requisitos para agregado fino a utilizar en diseño de mezcla, establecidos en ASTM C33M-23.
- Peso específico y porcentaje de absorción según ASTM C127-22,
- Peso unitario según ASTM C29M-23

- Pruebas de álcali agregado según lo estipulado en la normativa ASTM C1260-23.

En lo que respecta al agregado grueso se hicieron los ensayos de laboratorio para determinar peso unitario y porcentaje de absorción según ASTM C128-22, peso unitario según ASTM C29-23, granulometría según ASTM C136M-19 y lavado en malla 200 según ASTM C117-23. En la investigación solo se utilizó agregado grueso natural y de la misma fuente y calidad en todos los casos, para reducir así la incertidumbre asociada a los resultados obtenidos.

Luego de esto, se procedió con los diseños de mezcla siguiendo los lineamientos del ACI-211. Estos diseños se hicieron para una resistencia a la compresión a los 28 días de 21 MPa para posteriormente, consolidar cilindros según la normativa ASTM C192M-19 con las respectivas pruebas de control del cono de Abraham según ASTM C143M-20, densidad y contenido de aire según ASTM C138M-23. Finalmente, se procedió a realizar las pruebas de resistencia a la compresión de cada juego de cilindros, y compararlos con la muestra patrón.

4 Resultados y Discusión

En este apartado se procederá a detallar los resultados de las distintas pruebas realizadas a los materiales reciclados que se produjeron:

i. Granulometría y contenido de finos.

Para iniciar con la caracterización de los agregados finos reciclados, se procedió con la conformación de las granulometrías de las distintas arenas a utilizar en los diseños de mezcla. Como se puede ver en la Figura 1, las arenas recicladas no cumplen los requerimientos establecidos en la normativa C33, ya que estas sobresalen por el lado grueso de la curva granulométrica. Esto se puede ver de mejor manera al estudiar los módulos de finura establecidos en el Cuadro 1. Esto concuerda con lo ya antes presentado de los resultados que se encuentran en la literatura (Rodríguez y Cruz, 2023; Ramírez y Cruz, 2021). Al ser los materiales reciclados quebrados mecánicamente en una máquina y estar compuestos por una amalgama de cemento y otros agregados, es común que las granulometrías que inicialmente se producen no cumplan con las normas que han sido elaboradas para agregados vírgenes, y requieran ser arregladas para los diseños de mezcla. Esto también evidencia la necesidad de plantear normas específicas para los agregados reciclados.

Los módulos de finura de las arenas recicladas son hasta un 34% mayores en comparación con la arena patrón. Zhang (2011) categorizó el agregado fino en 3 tipos según su finura, donde finuras entre 3.0 y 2.3 son arenas medias; entre 2.2 y 1.6 son arenas finas; por ende, las arenas recicladas se pueden categorizar todas

como agregados finos medianos, mientras que la arena patrón entra en el rango de arena fina. Esto es necesario definirlo porque el módulo de finura influye de manera directa a las mezclas de concreto, donde valores más bajos aumentan la demanda de agua de la mezcla debido a un aumento en la cantidad de superficie de las partículas (Sims et al., 2019). También cabe anotar al respecto que el módulo de finura se ve afectado directamente por la calidad de la molienda que permite realizar la quebradora marca MASSCO que se utiliza, ya que este cuenta con una restricción del tamaño mínimo de apertura que tiene para el quebrado y que ronda los 2cm, lo que genera un sobretamaño importante en la arena producida.

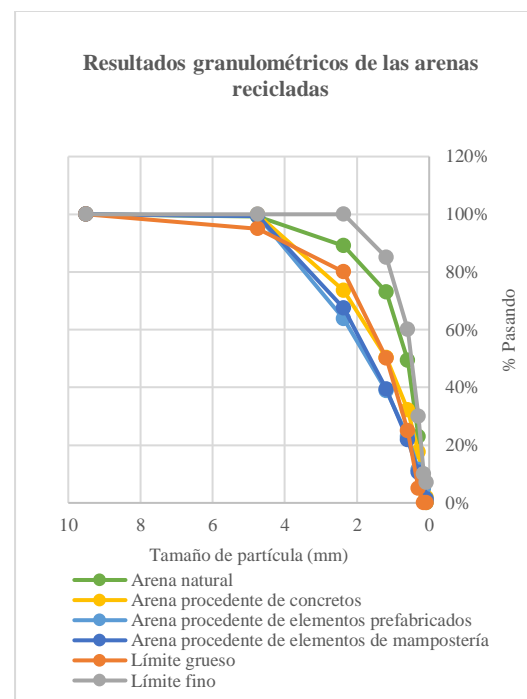


Figura 1. Gráfico de granulometrías.

Cuadro 1. Módulos de finura.

Fuente	Módulo de finura
Concretos	2,51
Prefabricado	2,82
Mampostería	2,76
Arena patrón	2,11

A su vez, es necesario recordar que, a la hora de obtener los resultados granulométricos de cualquier tipo de agregado, las muestras tuvieron que ser lavadas previamente según se indica en la norma ASTM C117. Con ello se procura extraer las partículas más pequeñas que la malla 200, que podrían interferir en la

calidad de los concretos posteriormente. Los resultados de este lavado se pueden ver en el cuadro 2.

Cuadro 2. Porcentaje de finos en las arenas.

Fuente	% Finos
Concretos	13
Prefabricado	11
Mampostería	7
Arena patrón	10

En esto se puede ver que las arenas de concretos y las de elementos prefabricados contienen el mayor contenido de finos, lo cual concuerda con la literatura, no así para el caso de las arenas de elementos de mampostería. Esto se puede deber a que el tipo de mezcla utilizada para la consolidación de estos bloques, ya que esta no contiene agregado grueso, aunque se requeriría de estudios adicionales para corroborar si la tendencia se mantiene y cuales podrían ser las causas. La mayoría de partículas finas en las arenas provenientes de concretos y de prefabricados se debe a la presencia de cemento de la mezcla original.

ii. Peso específico y absorción.

Luego de estudiar las granulometrías de las distintas arenas, se procedió con el estudio de los pesos específicos y las absorciones. Estos resultados se pueden ver en el cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados de peso específico y absorción.

Fuente	Gbs	Gbss	Gs	A (%)
Concretos	2,02	2,28	2,73	12,9%
Prefabricado	1,96	2,21	2,61	12,6%
Mampostería	2,33	2,48	2,72	6,0%
Patrón	2,42	2,53	2,73	4,7%

Se puede notar que para el caso de las arenas recicladas todas las gravedades específicas en el estado seco (Gbs) son menores que aquella de la arena patrón, significando también una disminución en la densidad. Por ende, las arenas recicladas son menos densas que la arena natural. Estudios previos realizados para agregados gruesos reciclados en Costa Rica presentaron un patrón similar, y se llegó a la conclusión de que estos agregados son más livianos y con mayor absorción debido a la presencia de la amalgama cemento-agregado. (Rodríguez y Cruz, 2023; Ramírez y Cruz, 2021)

Otro resultado a destacar son los valores de absorción obtenidos, donde las arenas procedentes de concretos y elementos prefabricados se comportan de manera

muy similar entre ellas y el agregado fino procedente de blocks de mampostería tiene un comportamiento “similar” a la arena patrón. Según Kosmatka (2004) los agregados finos tienen valores entre 0,2% y 2% y los agregados finos reciclados tienen valores de absorción de 3% a 10%. Por lo que los resultados encontrados, inclusive para la arena patrón pueden ser considerados altos. Estos resultados también son consecuentes con lo descrito por Kosmatka (2004) quien relata que los agregados reciclados tienen menores gravedades específicas y mayores absorciones debido a la pasta endurecida. También concuerdan con los resultados de las otras investigaciones nacionales mencionadas anteriormente.

iii. Peso unitario.

Posteriormente, se procedió con el estudio de los pesos unitarios de los agregados finos, donde los resultados se encuentran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados de peso unitario de agregados finos.

Fuente	Peso Unitario (kg/m ³)	
	Suelto	Varillado
Concretos	1220	1328
Prefabricado	1267	1361
Mampostería	1373	1464
Patrón	1403	1498

Con estos resultados se puede verificar que los agregados finos reciclados son más livianos que el agregado fino natural y se puede empezar a notar una tendencia, el agregado procedente de la mampostería tiene características físicas similares al agregado grueso natural, por lo que podría pensarse que entre las tres fuentes de escombros analizadas podría ser la que tenga un mayor potencial de aceptación a la hora de producir agregados finos reciclados dado sus similitudes con el agregado fino natural; infiriendo más allá de los objetivos de la investigación esta similitud que se ve en el agregado fino proveniente de mampostería puede deberse a que los bloques son elaborados con material fino y cemento, en ambientes industriales controlados, lo que puede ser una ventaja para este procesamiento y reciclaje. En estudios previos con escombros de mampostería, pero para la producción de agregado grueso no se veían similitudes tan claras en comparación con el agregado natural (Ramírez y Cruz, 2021). El peso unitario para agregados finos ideal para poder ser utilizado en mezclas debe ser mayor a los 1350 kg/m³ (Zhang, 2011). Valor que los agregados reciclados cumplen en su condición varillada, pero en su condición suelta están por debajo de dicha recomendación. Se tendría

que estudiar más a fondo si este peso específico más bajo puede ser una ventaja para producción de concretos más livianos, que puedan tener un comportamiento de durabilidad y resistencia aceptable y ser más eficientes por aportar menos peso muero a las estructuras.

iv. Pruebas álcali agregado.

Las pruebas para conocer las reacciones álcali en las mezclas de concreto son fundamentales para intuir la durabilidad del material. Es por esto que la guía C1778 de ASTM establece dos rangos para la aceptación de los resultados: Expansiones menores al 0,1% se consideran inocuas y mayores a 0,1% establece que es probable que haya reacciones álcali en la mezcla. Con esto en mente, se presentan los resultados obtenidos en esta investigación en la Figura 2.

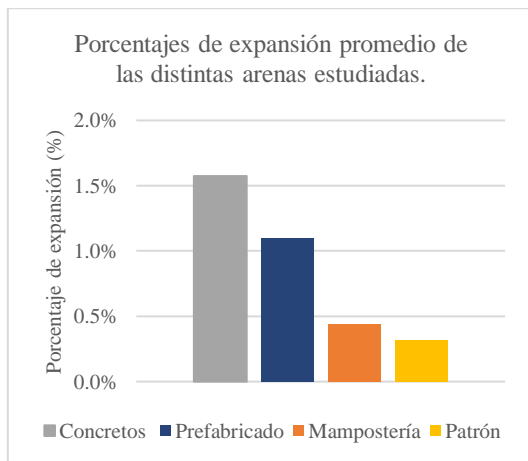


Figura 2. Porcentajes de expansión promedio de barras de mortero.

Las barras de mortero presentaron porcentajes promedio de expansión a los 14 días de: 1,6% para las arenas de concreto, 1,4 % para las arenas de elementos prefabricados, 0,4% para arenas de elementos de mampostería y 0,3% para la arena natural. Según lo establecido en la guía C1778, todas estas barras presentarían problemas de reactividad álcali y se debe proceder con la normativa C1293 haciendo uso del prisma de concreto para lograr delimitar de manera exacta si estas expansiones son o no debido a reacciones álcali. Importante recalcar acá que incluso la arena patrón, que es una arena natural de río procedente de Agregados Guápiles, y que comúnmente se utiliza en la construcción en el país, presenta resultados fuera de la norma. De nuevo se puede ver la similitud de resultados entre el agregado grueso procedente de blocks de mampostería y la arena natural.

v. Pruebas al concreto fresco.

Al momento de la redacción de este artículo se han realizado 6 mezclas de concreto a saber:

- 100% de arena de concretos.
- 100% de arena de mampostería.
- 100% de arena de elementos prefabricados.
- 100% de arena patrón.
- 75% - 25% arena de concretos y arena natural
- 50% - 50% arena de concretos y arena natural.

Por lo tanto, se procede a mostrar los resultados obtenidos del estudio de concreto fresco de solamente estas mezclas. Es necesario establecer que estas mezclas se han hecho con un revenimiento constante de 10 cm \pm 2,5 cm, por lo tanto, no necesariamente la relación agua/cemento se mantendrá constante durante las mezclas. Esto también porque los distintos porcentajes de absorción y humedad de los agregados al momento de la mezcla cambiarían la necesidad de agua en el concreto.

Cuadro 5. Densidad del concreto fresco y porcentaje de aire.

Mezcla	Densidad (kg/m ³)	Aire
100 % arena de concreto	2122	3,9%
100% arena de mampostería	2108	3,4%
100% arena de elementos prefabricados	2128	1,5%
100% arena natural	2248	3,8%
75% - 25% arena de concreto y arena natural	2206	3,7%
50% - 50% arena de concreto y arena natural	2241	3,1%

Cuadro 6. Relaciones agua/cemento y revenimiento de las mezclas

Mezcla	a/c	Rev (mm)
100 % arena de concreto	0,69	110
100% arena de mampostería	0,68	100
100% arena de elementos prefabricados	0,65	100
100% arena natural	0,52	100
75% - 25% arena de concreto y arena natural	0,69	115
50% - 50% arena de concreto y arena natural	0,60	90

Del Cuadro 5 se puede apreciar una tendencia importante en cuanto al decrecimiento de la densidad de los concretos frescos con respecto a aquellos consolidados con la arena patrón. Esto se debe porque,

como fue visto anteriormente, los agregados reciclados son más livianos que el agregado natural, causando así, mezclas menos densas.

Además, en el Cuadro 6 se puede notar que las relaciones agua/cemento para lograr una trabajabilidad buena son altas, esto porque los agregados reciclados cuentan con porcentajes de absorción más altos con respecto a la arena patrón. Dicho esto, se esperaría un comportamiento similar entre la arena de mampostería y la natural en cuanto la relación agua/cemento; esto no es así en este caso por la condición de humedad de los agregados, donde el agregado fino reciclado se encuentra en condiciones más controladas que el agregado natural. La razón de esto es el contenido de cemento de las arenas recicladas, que con humedades altas se tienden a aglutinar.

vi. Resultados de resistencia a la compresión.

Ahora entonces, se presentarán los resultados obtenidos de la falla de cilindros de concreto de 100 x 200 mm a una edad de 7 días. Ya que, al momento de la redacción del artículo, solamente a esta edad se habían fallado todos los especímenes.

Cuadro 7. Resultados de fallas de cilindros a 7 días.

Fuente	Fuerza fluencia promedio (MPa)	Porcentaje de resistencia con respecto a 21 MPa
100% arena de concreto	14	64%
100% arena de mampostería	16	61%
100% arena de elementos prefabricados	13	75%
100% arena patrón	14	65%
75% - 25% arena de concreto	11	52%
50% -50% arena de concreto	16	78%

Es bien sabido que a los 7 días los cilindros deberían desarrollar entre un 60% y un 65% de la resistencia final. En este caso y tomando en cuenta una resistencia final esperada de 21 MPa según lo establecido en el Código Sísmico de Costa Rica, los cilindros consolidados con un 100% de arena reciclada tienen un comportamiento aceptable según la teoría y sorprende la resistencia inicial de los concretos con arena de mampostería, ya que presentan la fuerza de fluencia mayor, incluso por encima del agregado patrón. De todas maneras, las resistencias promedio se encuentran bastante cercanas las unas de las otras. Se logra determinar que, a 7 días solamente, las variaciones en resistencia entre las distintas mezclas

no son tan significativas. En el caso de la mezcla con 100% de arena de mampostería hay una diferencia de 14% con respecto a la arena natural; la mezcla con un 100% de agregado fino procedente de elementos prefabricados tiene una diferencia de un 7% y la mezcla con 100% arena de concreto no presenta diferencias.

Quizá el resultado que más llama la atención es la fluencia de los cilindros con un 75% de arena de concreto, ya que cuentan con la fuerza de fluencia promedio más baja. Esto puede responder a que una disminución de agregado reciclado conlleva una disminución de cemento en la mezcla (porque hay que recordar que los agregados reciclados traen una proporción importante de cemento de las mezclas anteriores) y esto resulta en resistencias menores. Aun así, esta tendencia no se repite en el caso de los cilindros elaborados con mitades de arenas, los cuales presentan el mayor valor de resistencia promedio de los cilindros ensayados hasta el momento. La diferencia de este comportamiento puede radicar en las diferencias del agua/cemento utilizada en las mezclas, ya que la gran absorción del agregado reciclado conllevó a una mayor necesidad de agua en la mezcla para una adecuada trabajabilidad.

5 Conclusiones y recomendaciones.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo expuesto en la literatura y se ratifica la posibilidad de implementar una economía circular para los escombros de la construcción. En este sentido resulta preponderante establecer metodologías de reutilización y estándares de calidad adaptados a los agregados reciclados.

Particularmente, resulta importante considerar aquellas variables que si interfieren en la calidad de los materiales nuevos. Como por ejemplo la reacción por el cemento en exceso que presentan los agregados reciclados en comparación a los vírgenes, debido a que es imposible determinar la cantidad de partículas de cemento heredado en los agregados finos reciclados, dando como producto reacciones álcali sílice no deseadas en las mezclas, las cuales van a afectar de manera directa la durabilidad de los elementos colados a partir de este tipo de agregados. Además de esto, estas partículas de cemento heredado son las responsables de un aumento en la absorción de los agregados finos reciclados.

Los resultados preliminares de esta investigación arrojan resultados que, aunque parecen esperanzadores en términos de resistencia a la compresión, deben ser tomados con su debida responsabilidad y llaman la atención a la necesidad de un mayor control de la calidad y características de los agregados reciclados. Esto debido a que es muy probable que a los 28 días

los cilindros cumplan con la resistencia especificada de diseño, como ha pasado en investigaciones anteriores, pero que otras características si se vean más influenciadas y podrían frenar o alterar las posibilidades de reciclaje.

Debido a la interacción de los agregados con las reacciones de álcali, no se recomienda utilizar agregados con una sustitución del 100% de agregado reciclado en elementos estructurales. Resultaría importante continuar la investigación utilizando estos agregados para conformar elementos no estructurales/ornamentales como lo pueden ser banquetas de concreto o bordillos. Además de esto, se recomienda el estudio de las reacciones álcali-agregado con porcentajes de sustitución de arenas del 75%, 50% y 25% para lograr obtener el punto justo donde se encuentren las resistencias con la durabilidad de los concretos.

Desde el punto de vista de características físicas de los agregados, esta investigación logró concluir que las arenas recicladas estudiadas son más gruesas y menos densas que aquellas naturales, resultados que son consecuentes con las investigaciones hechas a nivel mundial sobre este mismo tema.

Es recomendable empezar a estudiar procesos de creación de agregados reciclados utilizando maquinaria más moderna, en donde se pueda minimizar el desperdicio y controlar el tamaño de partícula. El procesamiento de arenas recicladas demanda un esfuerzo mayor para su producción tanto en horas de trabajo como energía, en comparación con la producción de agregados gruesos reciclados o comparando con el procesamiento que requieren los agregados naturales.

6 Referencias