

CONCRETO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO: REVISIÓN DE LITERATURA

NICOLAS CERVERA HINCAPIE

DANIELA SABAS DUQUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA LUIS AMIGÓ Transversal 51ª #67B 90 Medellín (Antioquia), Colombia

TABLA DE CONTENIDO

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
Objetivo General:.....	4
Objetivos Específicos:	4
MARCO TEÓRICO	5
METODOLOGÍA.....	7
Tipo de Investigación.....	7
Diseño de Investigación.....	7
Población y Muestra	7
Recolección de la Información	7
CRONOGRAMA	9
RESULTADOS OBTENIDOS.....	10
DOSIFICACIÓN.....	19
Diferencia económica entre una mezcla de concreto con agregado grueso 100% reciclado y una con agregado grueso 0% reciclado.....	34
CONCLUSIONES.....	36
Bibliografía.....	38

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Base de datos	10
Ilustración 2. Índice de calidad "Publindex"	11
Ilustración 3. Índice de calidad "Scimago"	11
Ilustración 4. País de publicación.....	13
Ilustración 5. Año de publicación.....	14

Ilustración 6. Tipo de Agregados	15
Ilustración 7. Tipo de Cemento	16
Ilustración 8. Origen del Concreto Reciclado	17
Ilustración 9. Propiedades Encontradas con los Ensayos	18
Ilustración 10 Top 3 de Investigaciones (Con elementos extra reciclados) con el F'c más alto	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dosificaciones.	20
Tabla 2. Investigaciones sin dosificaciones.....	26
Tabla 3. Dosificaciones con Cenizas Volantes y Micro Sílice.....	27
Tabla 4. Dosificación con Cal y Cenizas Volantes como 100% aglutinante	28
Tabla 5. Dosificación con Fibras de desecho	28
Tabla 6. Dosificación con Fibras de Polipropileno	29
Tabla 7. Dosificación con 4 Aditivos	29
Tabla 8. Dosificación con Escoria y Cenizas Volantes	30
Tabla 9. Dosificación con Fibras de Vidrio.....	30
Tabla 10. Top 3 de Investigaciones con el F'c más alto.....	31
Tabla 11. Precio de Materiales	34
Tabla 12. Dosificación de cada mezcla	35
Tabla 13. Precio de cada dosificación	35

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La extracción de materia prima para la elaboración de materiales compuestos y la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) son dos aspectos fundamentales de una obra civil, pero que a su vez se convierten en dos problemas que causan un impacto ambiental grande sobre los ecosistemas rurales y urbanos. La actividad de la construcción y demolición produce impactos ambientales negativos que se dan en dos momentos: durante la extracción de áridos con los cuales se elaborarán los materiales de construcción (entre ellos el concreto), donde se generan algunos residuos similares a los originados en obra, y durante la actividad de demolición, donde el impacto negativo se debe exclusivamente a los residuos generados por este (David de santos, 2011).

Además, Son pocas las ciudades que cuentan con lugares para la recolección y almacenamiento de los RCD, un ejemplo claro de esto es en ciudades como Medellín, Bogotá e Ibagué donde se superan los 20 millones de toneladas anualmente, ocasionando así, impactos negativos como afectaciones al suelo, afectación directa a la atmósfera, afectación en cuerpos de agua y afectaciones al paisaje (Milagro Barrios, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, se entiende que no es nada benéfico para el ambiente tener estas formas de contaminación, por lo que en el presente trabajo de grado se plantea la revisión de la reutilización de escombros o residuos de demolición como agregado grueso para concretos en nuevas obras y de esta manera disminuir el impacto creado por la actividad de extracción de áridos y de demolición.

Para esto, a través de una base de datos de 50 artículos se evaluará la dosificación del concreto, en el cual se sustituyó el agregado grueso natural por agregado grueso reciclado, y que cumpla con alcanzar la resistencia mecánica mínima (17 MPa) a los 28 días exigida por la NSR-10 (Asociacion colombiana sismica, 2022).

JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo escrito se va a desarrollar con el fin de buscar solución a uno de los impactos ambientales generados por la industria de la construcción, este se trata de las afectaciones generadas al ambiente por elevadas cantidades de Residuos de construcción y demolición (RCD), las cuales se ven presentes en: la inoportuna disposición final de ellos, lo que aporta al aumento de procesos erosivos y degradación de la cobertura vegetal; la contaminación de afluentes, de manera que, algunos RCD pueden transformarse en sedimentos al hacer contacto con el agua, volviéndose así también en un problema de colmatación en alcantarillados; y la contaminación al paisaje, donde la impertinente colocación de los RCD en zonas públicas genera una mala calidad de vida en la sociedad presente. El concreto con agregado reciclado es el tema presente por tratar en este documento, viéndolo como solución a lo anterior, dejando como ejemplo que, si se toman millones de toneladas de RCD generados por las obras civiles demolidas y se usan para hacer este tipo de concreto, se puede disminuir el impacto ambiental negativo que generan dichos residuos en el ecosistema y agregarle al medio de la construcción una mirada más sostenible.

Otro beneficio que se encuentra en el uso de este concreto con agregado reciclado es la viabilidad económica que proporciona a la construcción, esto debido a la sustitución del agregado natural por el RCD. Además, es importante aclarar que lo que se busca con esta revisión bibliográfica es hacer cumplimiento de la NSR-10 (Asociación colombiana sísmica, 2022), es decir, revisar que los diseños de mezclas alcancen una resistencia mecánica de por lo menos 17 MPa a los 28 días.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Analizar las dosimetrías del concreto desarrollado con agregados provenientes de RCD que cumplan la especificación en resistencia mecánica de la norma NSR-10.

Objetivos Específicos:

- Identificar la(s) dosimetría(s) de concreto reciclado que alcanzan la resistencia mecánica de un cilindro de concreto convencional de acuerdo con la NSR-10 a través de una revisión bibliográfica.
- Evaluar la viabilidad económica del desarrollo de elementos estructurales realizados con concreto reciclado contrastándolo con el concreto convencional.
- Divulgar los resultados del trabajo de grado a través de un folleto informativo que pueda ser compartido con diferentes entidades público-privadas y concientizarlas acerca del uso del RCD.

MARCO TEÓRICO

El concreto reciclado tiene la misma composición del concreto convencional, ya que incluye en la mezcla (grava, arena, cemento, agua y aditivo), lo único que difiere es que el agregado grueso o la grava se obtiene a partir de estructuras demolidas; pasando por un proceso de selección para que no cambie las propiedades de los agregados reciclados (Argos, 2022).

Como anteriormente se mencionaba en la composición de la mezcla, también se debe tener en cuenta la dosificación de cada elemento que conforma el concreto, esto nos permite realizar una mezcla más homogénea y maleable sin perder sus características físicas y mecánicas y, así, poder alcanzar las resistencias esperadas que para un concreto convencional por medio de unos ensayos que se llevan a cabo para determinar la resistencia a compresión del concreto ($F'c$) en conjunto de una máquina que ejerce una carga a diferentes velocidades, esto con el fin de observar y analizar los resultados arrojados por dicho artefacto que se realizan cada 7, 14 y 28 días según la NSR 10 para un concreto estructural el $F'c$ no debe ser inferior a 17MPa (Asociacion colombiana sismica, 2022).

Dichos ensayos mencionados anteriormente se realizan por medio de cilindros de concreto, una vez esté la mezcla preparada se deposita en el cilindro cuyo proceso de vaciado y curado debe de ser riguroso para que al momento de fallar los especímenes de concreto se pueda obtener las resistencias esperadas, según la NTC 1377 establece unos parámetros a seguir para una buena ejecución de los ensayos, para la realización de este proceso se necesita un cilindro de metal de 50 a 100mm de diámetro, esto para ensayos de resistencia a compresión, fluencia, módulo de elasticidad y resistencia a tracción, para la facilidad de compactación se necesita una varilla, balanza, recipientes para unificar la mezcla antes de agregar agua y un vibrador para mejor compactación de la mezcla (Icontec, 2022).

La procedencia de los agregados reciclados es de estructuras demolidas, son estructuras que por algún motivo estructural sea fallas en el suelo o que la estructura presente alguna patología y esto genera que sea inhabitable. Para evitar el impacto ambiental que las demoliciones generan y para evitar que el material sea arrojado a las escombreras o rellenos sanitarios, se halló otra alternativa para disminuir la huella de carbono y demás contaminaciones que pueda generar.

El proceso de tratamiento de estas estructuras demolidas comienza con la toma de los escombros, los cuales pasan por un proceso de selección y triturado de partículas grandes para su fácil manejo, siendo este el primer paso para selección de agregados finos y gruesos requeridos para la mezcla, Según el INV-E 213 el proceso de selección de partículas es de acuerdo a la organización decreciente de los tamices los cuales se encargan de seleccionar la muestra de acuerdo a las especificaciones que se estipulan para cada tipo de mezcla que se denomine. seleccionando sólo las muestras retenidas en el tamiz N°4 siendo este de 4,75mm de abertura, luego se realiza la descontaminación de la muestra para que al momento de hacer la mezcla no genere errores debido a algún tipo de contaminación en el material seleccionado (Invias, 2012).

Esto se hace con el fin de poder reutilizar un material al que no se le va a dar otro uso, y también poder tener más alternativas sostenibles ya que estamos muy cerca de agotar los recursos naturales, y, los agregados gruesos y finos se extraen de dichos recursos.

METODOLOGÍA

Tipo de Investigación

En el siguiente trabajo de grado se hace una propuesta de investigación de tipo mixta, este tiene como principal objetivo escoger las virtudes del método cualitativo y cuantitativo con el fin de ejecutar una investigación más completa, teniendo en cuenta, su objetivo respecto a cómo obtener y recopilar la información mediante datos descriptivos sobre el tema a tratar teniendo un enfoque intuitivo respecto a la búsqueda de la información, como también se pueden hallar investigaciones con una visión más cuantitativa, esto quiere decir que clasificará la información por medio de datos numéricos y porcentuales, permitiendo un análisis de resultados más amplia, básicamente se realiza una revisión bibliográfica para la clasificación y recolección de la información.

Diseño de Investigación

A partir del enfoque mixto, surge un diseño de investigación el cual permite analizar e interpretar los resultados de las diferentes variables que influyen en un fenómeno en específico, observando cual es el registro de la información recopilada, de acuerdo con el objeto de estudio seleccionado de forma definida.

De acuerdo con el alcance de la información que se desea buscar para respaldar esta investigación, debe ser de tipo exploratorio ya que, en Medellín, no se ha puesto en práctica el fenómeno planteado, este fenómeno es identificar, analizar y recopilar datos e información de la resistencia a compresión y tracción que debe de tener el concreto reciclado en elementos estructurales.

Población y Muestra

La selección de la población son las investigaciones realizadas sobre el concreto reciclado y la muestra se estipula de acuerdo con la información que se pueda hallar, en este caso se realiza una búsqueda de la información apoyada en 50 investigaciones con posible aumento debido a que el proceso de análisis si se acerque a el resultado esperado.

Recolección de la Información

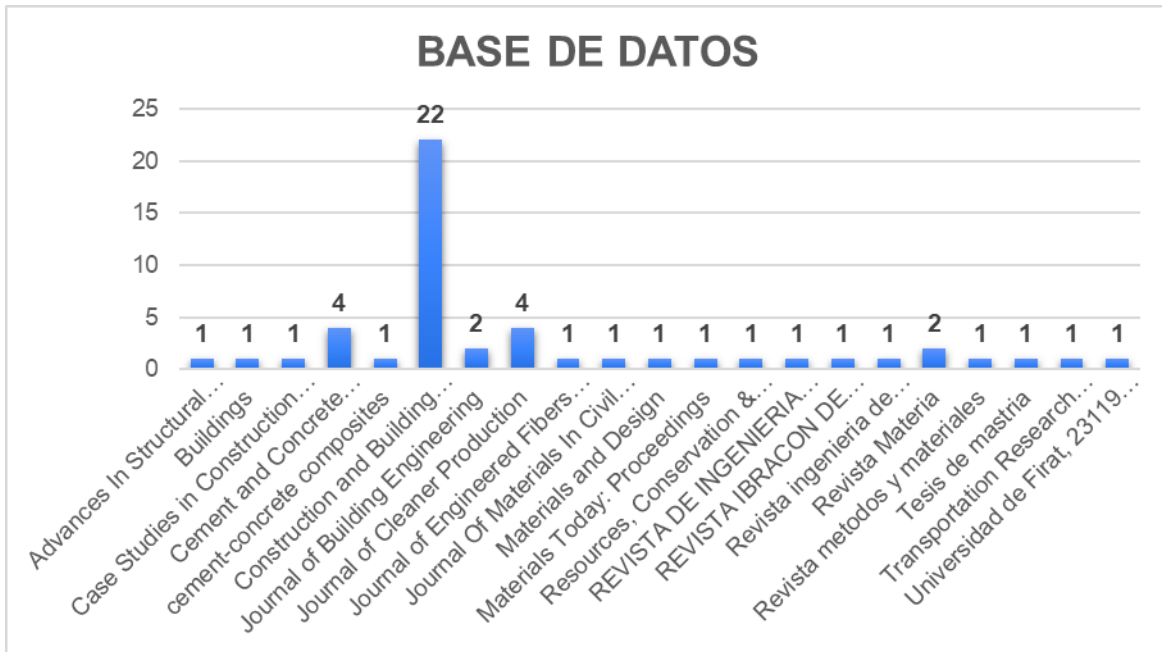
La recolección de la información se hace por medio de una revisión bibliográfica, por la cual se analizará y se obtendrán los resultados de acuerdo con los datos e información recopilada.

Por un lado, se recopilarán investigaciones de maestría o artículos científicos que estén publicados en revistas confiables. al momento de clasificar la información se hallan aspectos cualitativos como el año, la ciudad y datos descriptivos del ensayo, por otro lado, también se clasificarán las variables cuantitativas como dosificaciones, relación agua cemento y comparar la resistencia a la compresión del concreto.

CRONOGRAMA				
Actividad	Meses			
	1	2	3	4
Buscar y seleccionar las bases de datos				
Revisión bibliográfica				
Análisis e interpretación de los resultados				
Desarrollo de la monografía de trabajo de grado				
Preparación de la sustentación de trabajo de grado				

RESULTADOS OBTENIDOS

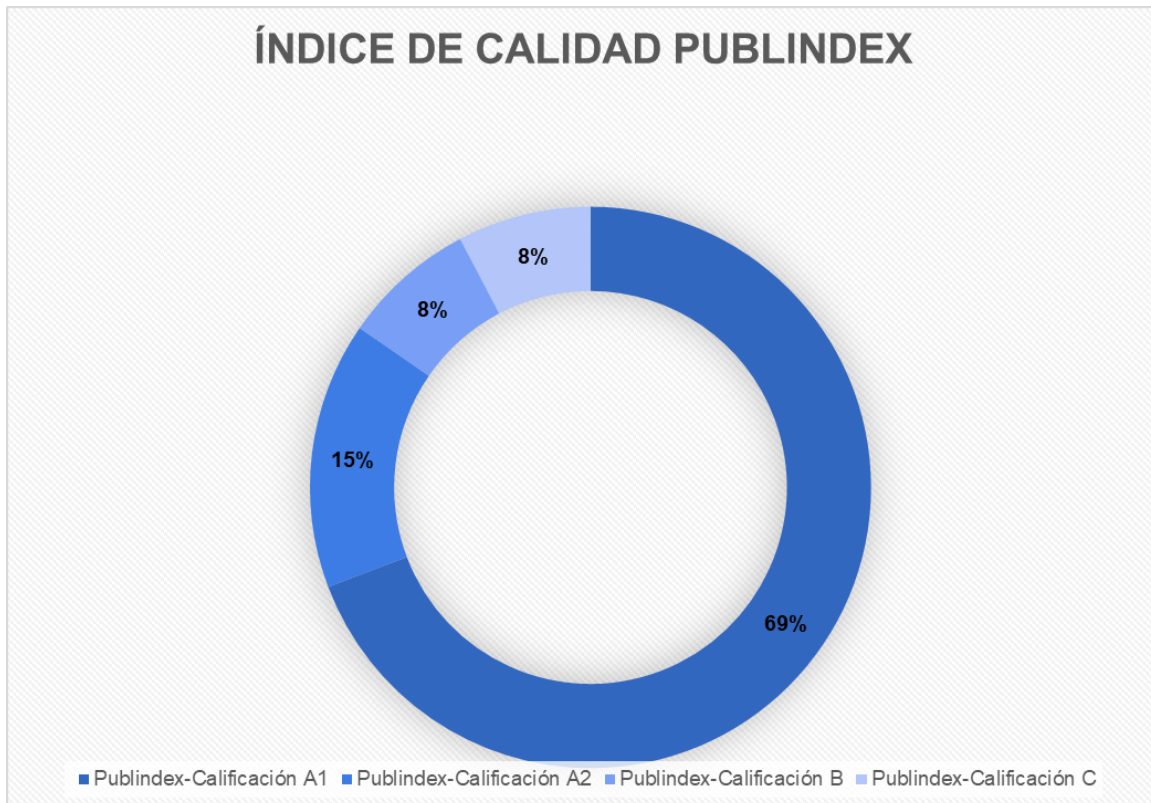
Ilustración 1. Base de datos



La ejecución de esta revisión bibliográfica se hizo por medio de la base de datos llamada “Science Direct”, enfocada en revistas que expongan y expliquen el tema a tratar en este trabajo de grado, que es el análisis del agregado grueso reciclado en la creación de un nuevo concreto. Como se observa en la ilustración 1, la revista con más investigaciones enfocadas al concreto reciclado es “Construction and building materials” con un total de 22 investigaciones que es el 44% de las 50 investigaciones halladas.

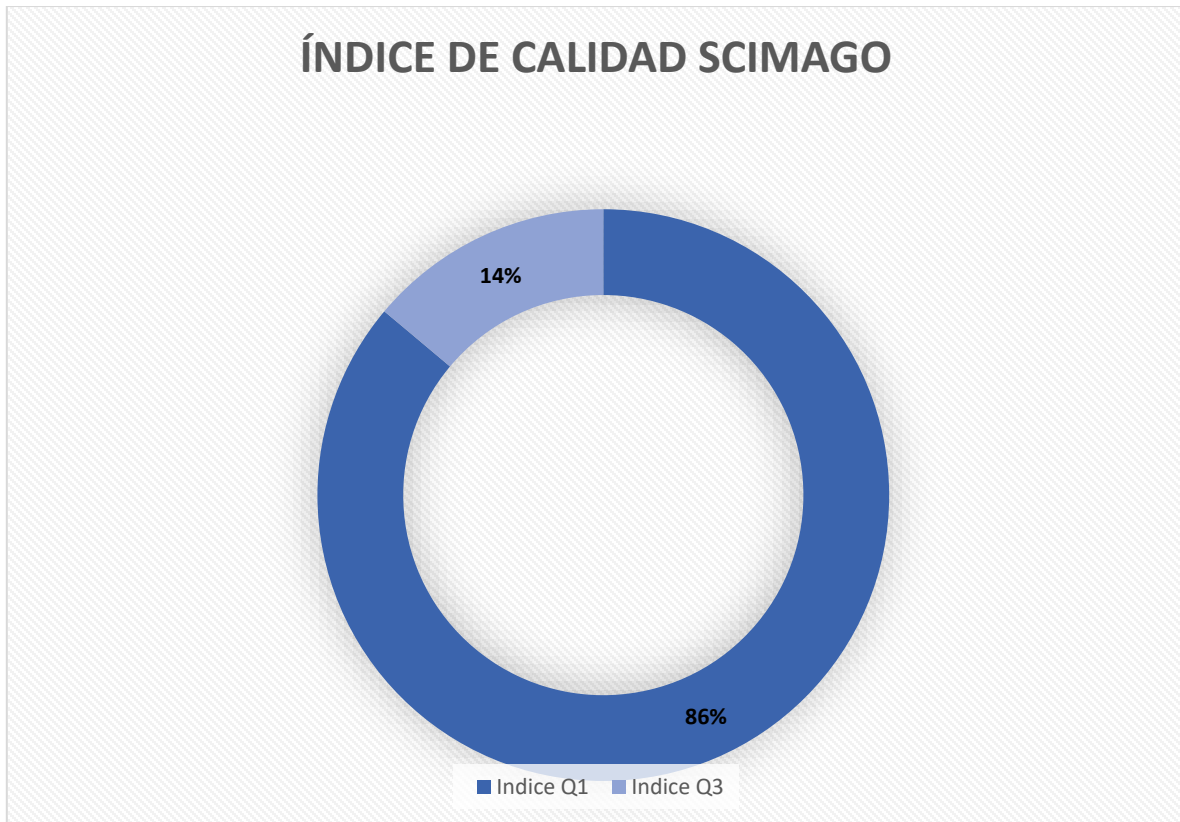
De acuerdo con las bases de datos seleccionadas se debe realizar un estudio de calidad en el artículo hallado, esta calificación la brindan dos sistemas diseñados para la evaluación y clasificación de revistas llamados “Publindex” y “Scimago”. en esta revisión bibliográfica se obtienen investigaciones clasificadas de ambos sistemas.

Ilustración 2. Índice de calidad "Publindex"



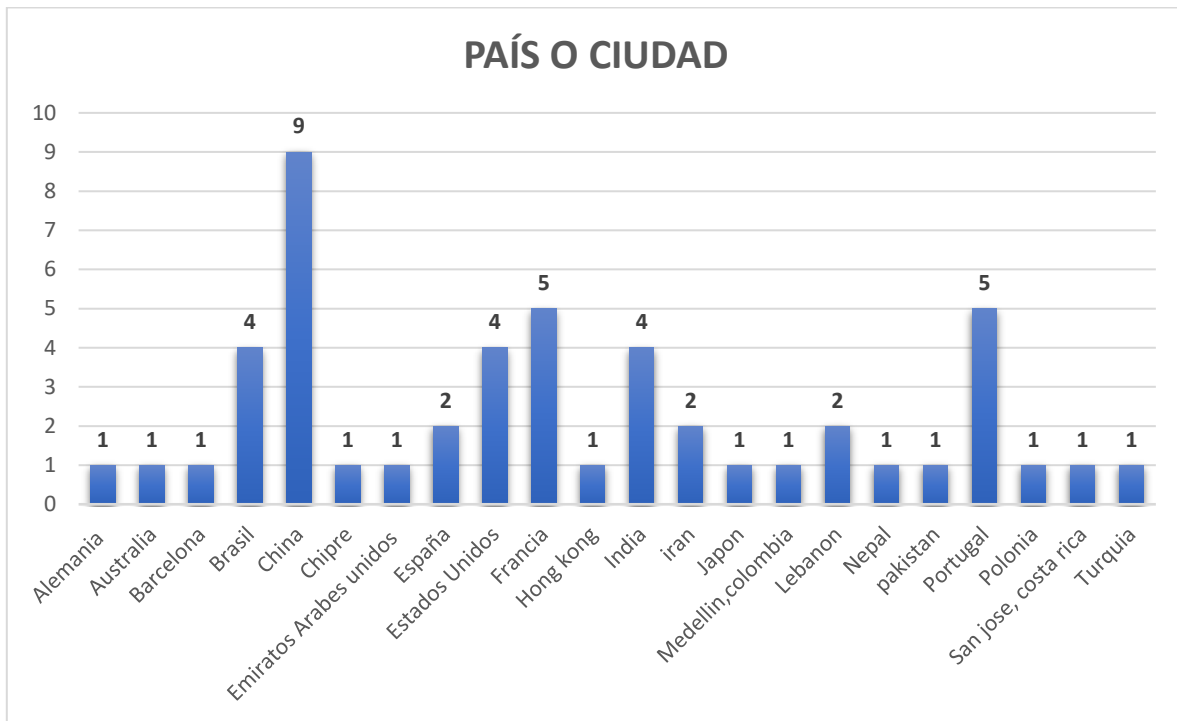
“Publindex” clasifica su ponderación desde A1 siendo el mejor índice de calidad y decrece su ponderación hasta C, ya que va disminuyendo su calidad del artículo o revista interpretando que no se refleja un impacto significativo del artículo en la comunidad interesada en esta temática.

Ilustración 3. Índice de calidad "Scimago"



“Scimago” es otra plataforma que realiza una evaluación y clasificación de las revistas en las que se publican los artículos con diferentes temas a tratar. Esta plataforma realiza su clasificación desde Q1 hasta Q4, siendo Q1 la mejor calificación o el artículo que tiene más impacto en la sociedad científica.

Ilustración 4. País de publicación



Teniendo en cuenta la ubicación donde se realizaron los estudios de concreto reciclado, el país con más investigaciones realizadas fue China, aunque teniendo en cuenta que, en Portugal, Francia, Brasil, Estados Unidos e India se tuvo una cantidad significativa de investigaciones realizadas.

Ilustración 5. Año de publicación



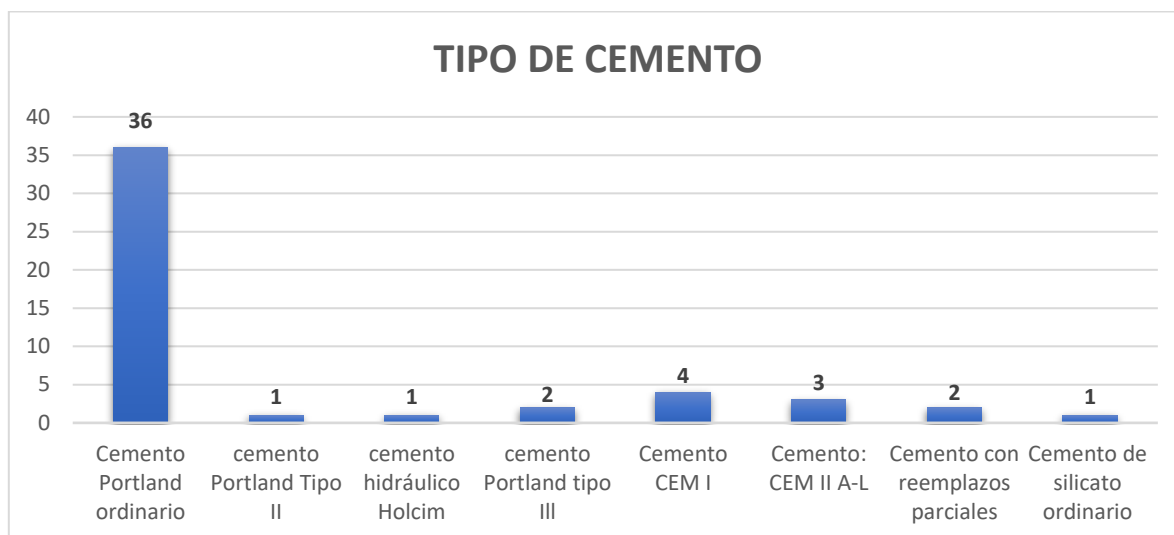
El propósito de la ilustración 5 es plasmar la evolución y el interés de los investigadores por este tema del concreto reciclado, ya que se están implementando más alternativas sostenibles para contribuir en la disminución del impacto ambiental generado en los últimos años infiriendo que el 28% de las investigaciones fueron realizadas en el año 2022.

Ilustración 6. Tipo de Agregados



En la ilustración 6 se pueden apreciar los tipos de agregados (Naturales o reciclados) que se utilizaron en las 50 investigaciones recolectadas para la revisión de literatura. En el 80% de las investigaciones, es decir 40 de ellas, se presentaron agregados gruesos reciclados y agregados finos naturales, mientras que, en el otro 20% de las investigaciones, es decir 10 de ellas, se presentaron agregados gruesos y finos reciclados. Es importante aclarar el tipo de agregados utilizados en las mezclas, debido a que el comportamiento de las propiedades del concreto varía según sus materiales y sus proporciones.

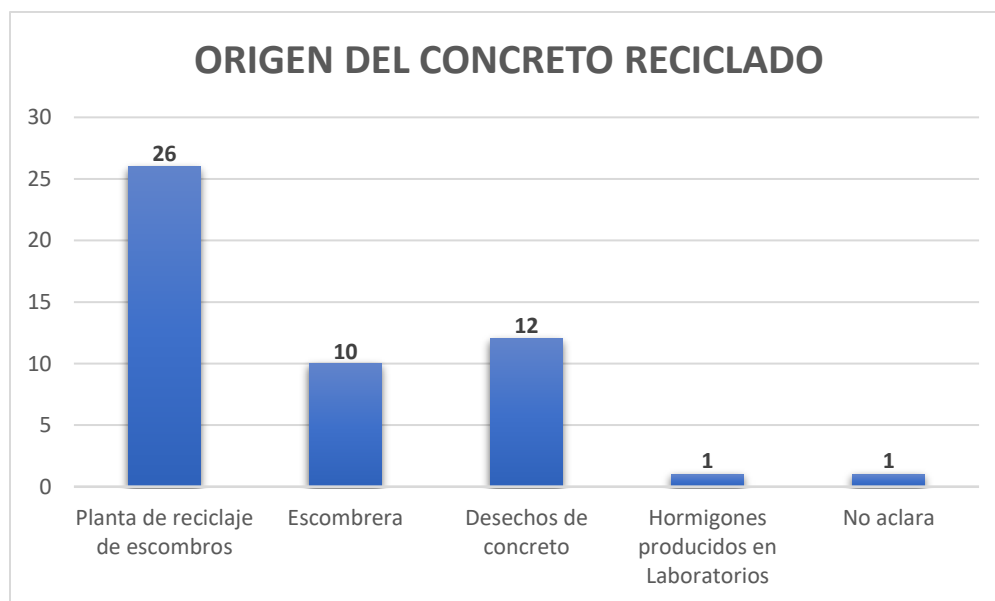
Ilustración 7. Tipo de Cemento



Tener en cuenta el tipo de cemento utilizado en las investigaciones es importante, debido a las diferentes características que le proporciona cada cemento a la mezcla de concreto hecha para los ensayos. En la ilustración 7 se puede apreciar que el cemento Portland ordinario (Tipo I) es el más utilizado en la revisión de literatura, el cual está presente en 36 investigaciones (Carlos Bedoya, 2015) (Nanya, 2021) (Muhammed Ulucan, 2022) (Haitham AL Ajmani, 2019) (Jianzhuang Xiao, 2004) (Hanghua Zhang, 2022) (Stefano Silva, 2021) (Tang yuxiang, 2022) (Weiqi Xing, 2022) (C. Vivek Kumar, 2022) (Martín Cyr, 2022) (Nassif Nazeer Thaickavil, 2018) (Marco Pepe, 2016) (Fernanda de Andrade Salgado, 2021) (Bilal S. Hamad, 2018) (Adam M. Knaack, 2015) (Dawi, 2015) (Michael J. McGinnis, 2017) (Jorge Dimitriou, Improving the mechanical and durability properties of concrete with recycled aggregates, 2018) (Ngoc Kien Bui, 2017) (Togay Ozbakkaloglu, 2018) (Hasan Jalilifar, 2021) (Sajan K.C, 2022) (Ayodele Adessina, 2019) (Amor Ben Fraj, 2017) (Zhen Hua Duan, 2014) (Babar Alí, 2019) (Rupali Subhasmita Padhi, 2018) (Pinghua Zhu, 2020) (Lauren Likes a, 2022) (Ki, 2021) (Seth Wagner, 2020) (Jinghai Zhou, 2019) (Chandra Sekhar Das, 2018) (Lihua Zhu, 2022); el cemento CEM I es el segundo más utilizado en las

50 investigaciones y está presente en 4 de ellas (J. Lavado, 2020) (Pedro D, 2017) (Mirian Velay-Lizancos I. M.-L.-B., 2018) (Mirian Velay-Lizancos P. V.-B.-L., 2018). Algo importante a destacar es que dentro de la revisión de literatura también hay reemplazos parciales del cemento en 2 investigaciones como lo indica la presente gráfica, en una investigación se reemplazó parcialmente el cemento por humo de sílice y cenizas volantes (Jorge Dimitriou, 2018); y en la otra se realizó el reemplazo por ceniza de cascarilla de arroz (Zhihui Wang, 2022).

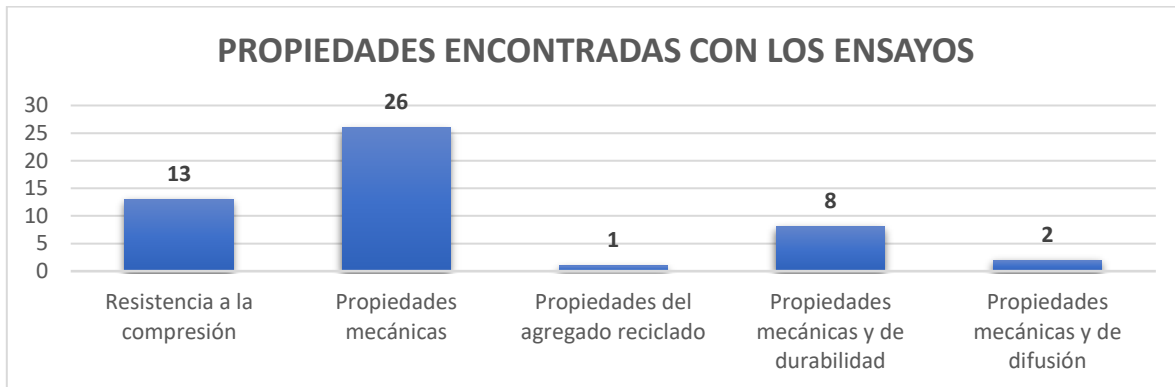
Ilustración 8. Origen del Concreto Reciclado



En la gráfica 7 se puede apreciar de dónde proviene el concreto reciclado de las investigaciones presentes en la revisión de literatura. Los agregados reciclados provenientes de plantas de reciclaje de escombros son la fuente más común en la revisión de literatura, donde se tiene una frecuencia de 26 investigaciones de las 50 que se realizaron. Los desechos de concreto común de edificios, cilindros de concreto, puentes etc. Son la segunda fuente más frecuentada de las investigaciones con un total de 12. Las escombreras son la tercera fuente más utilizada para la recolección del agregado grueso reciclado para la creación de los

ensayos en 10 investigaciones de la revisión. Hay 1 investigación que utilizo como fuente de sus agregados reciclados a hormigones producidos en laboratorios, a los cuales se le hizo su debido proceso de trituración para utilizarse en los ensayos.

Ilustración 9. Propiedades Encontradas con los Ensayos



En la ilustración 9 se pueden apreciar las propiedades encontradas con los ensayos hechos por las investigaciones. De las 50 investigaciones lo que más se busca es encontrar las propiedades mecánicas del concreto, teniendo 26 investigaciones con este objetivo. 13 investigaciones se dedicaron a encontrar únicamente la resistencia a la compresión del concreto con distintos materiales reciclados y 8 investigaciones se dedicaron a hallar las propiedades de durabilidad. El ensayo de resistencia a la compresión se realizó en todas las investigaciones, por lo que algo que tienen en común estas investigaciones es que en todas se encontró el F_c del concreto.

DOSIFICACIÓN

A continuación, se presentará la tabla de dosificaciones de concreto, donde se plasmó el diseño de la mezcla respectivo que realizó cada investigador, con el fin de interpretar los resultados óptimos para un futuro ensayo.

En la siguiente ilustración se verá detallada las dosificaciones que plantean las diferentes investigaciones, clasificando la información de acuerdo con los materiales que contiene el concreto, si bien se sabe el concreto lo conforman, el agregado grueso, agregado fino, cemento, agua y en ocasiones algún aditivo que tiene como fin modificar algunas de las propiedades de la mezcla. En dicha ilustración se podrán observar las proporciones de la mezcla, de tal manera que todas quedaron en relación con el cemento, encontrando así la cantidad utilizada de material sobre la cantidad de cemento necesaria para la mezcla. Además, la tabla contiene la resistencia a la compresión ($F'c$) que dio como resultado los ensayos hechos con cada dosificación y así, poder comparar cual fue el diseño más apto para la reutilización del material.

La columna “Medidas de la muestra” consiste en mostrar si el ensayo realizado en la investigación cumple con los estándares mínimos de la norma (Asociación colombiana sísmica, 2022) con respecto a las medidas de las muestras. Esta norma especifica que el cilindro dependiendo de si es una probeta grande su tamaño debe de ser de 300 mm de alto y 150 mm de diámetro y si su tamaño se reduce debe de ser de (200 mm de alto y 100 mm de diámetro) lo cual facilita el control de calidad de los concretos.

Tabla 1. Dosificaciones.

Titulo	%Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	%Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	%Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	%Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Agua/Cemento	Aditivo %	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Evaluación de muestras del agregado grueso proveniente de residuos de concreto para producir nuevos concretos	100	1,8	-	-	-	-	100	1	0,53	No	Cumple	27
A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic and environmental	100	5,87	-	-	-	-	100	5,87	0,5	0,07	Cumple	28,88
Mechanical properties of concrete with recycled aggregates under uniaxial loading	100	2,67	-	-	-	-	100	1,14	0,43	No	Cumple	23,8
Long-term shrinkage and mechanical properties of concrete with fully recycled aggregates: testing and modeling	100	2,96	-	-	100	1,81	-	-	0,45	1,6	Cumple	44,11
Durability and shrinkage behavior of concrete made with coarse multi-recycled concrete aggregates	100	2,49	-	-	-	-	100	2,06	0,55	No	Cumple	54,1
Mechanical properties and uniaxial compressive stress-strain behavior of concrete with fully recycled aggregates	100	2,66	-	-	100	1,63	-	-	0,45	No	Cumple	41,6

CONCRETO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO: REVISIÓN DE LITERATURA

Titulo	%Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	%Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	%Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	%Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Agua/Cemento	Aditivo %	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Estudio das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD	50	1,16	50	1,16	50	1,03	50	1,03	0,64	No	Cumple	25,1
Evaluation of resistant characteristics and identification of dosage optimal with the impact of the partial replenishment of recycled coarse and fine aggregate from construction and demolition waste	35	1,14	65	2,13	35	0,65	65	1,22	0,45	No	Cumple	28,7
Strength and durability of concrete containing recycled concrete aggregates	100	3,83	-	-	-	-	100	2,54	0,4	No	Cumple	29,3
A novel mix design methodology for concrete with recycled aggregates	100	2,66	-	-	-	-	100	2,16	0,5	No	Cumple	38,57
Properties of concrete with recycled aggregates with different methods of water control	100	2,66	-	-	-	-	100	1,69	0,56	No	Cumple	23,5
Properties of recycled aggregates of different composition and its influence on the strength of concrete	20	0,61	80	2,42	-	-	100	2,02	0,5	1,08	Cumple	29

Titulo	%Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	%Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	%Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	%Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Agua/Cemento	Aditivo %	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Structural, material mechanical and durability properties and behavior of recycled aggregates concrete	100	2,906	-	-	-	-	100	1,99	0,54	No	Cumple	46
Shear strength of beams reinforced concrete with recycled aggregates	52,5	1,92	47,5	1,74			100	0,18	0,7	2,18	Cumple	34,5
Effect of fine and coarse recycled concrete aggregate on the mechanical behavior of precast reinforced beams: Comparison of FE simulations, theoretical, and experimental results on real scale beams	50	2,52	50	1,85	-	-	100	1,61	0,5	6	Cumple	56,5
Concrete with fine and coarse recycled aggregates: evolution of the modulus of elasticity, compressive strength and non-destructive testing at early ages	31	1,4	69	1,5	-	-	100	1,63	0,45	No	Cumple	51
Compressive strength and microstructural analysis of recycled coarse aggregate concrete treated with silica fume	100	3,74	-	-	-	-	100	2,29	0,48	0,01	Cumple	34
Studies of the effect of recycled aggregates on the structural behavior of beams in flexure, shear and bond splitting	100	2.6	-	-	-	-	100	2.29	0,57	No	Cumple	29.5

Titulo	%Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	%Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	%Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	%Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Agua/Cemento	Aditivo %	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Strength and stiffness of concrete with recycled concrete aggregates	100	0,4	-	-	-	-	100	0,22	0,15	No	Cumple	24.1
Improving the mechanical and durability properties of concrete with recycled aggregates	100	0.72	-	-	-	-	100	0.67	0,48	No	Cumple	62.2
Improvement of the mechanical properties of concrete with recycled aggregate based on a new combination method between recycled aggregate and natural aggregate.	100	1.49	-	-	-	-	100	2.11	0,4	No	Cumple	57
Mechanical and durability properties of concrete with recycled aggregates: effect of recycled aggregate properties and content.	100	2.14	-	-	-	-	100	1.86	179	No	Cumple	27.2
Fresh properties of concrete with recycled aggregates	100	2.9	-	-	-	-	100	2.26	0,55	No	Cumple	49.47
Mechanical characterization of recycled concrete under various aggregate substitution scenarios.	40	1,28	50	1.92	55	0,68	45	0,68	0,475	No	Cumple	25.48
Experimental and micromechanical research on the mechanical and durability properties of concrete with recycled aggregates	100	2.32	0	0	0	0	100	2.28	0,42	No	Cumple	56

CONCRETO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO: REVISIÓN DE LITERATURA

Titulo	%Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	%Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	%Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	%Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Agua/Cemento	Aditivo %	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Recycled Aggregate Concrete - Recycling and Environmental Analysis: A Case Study of the Paris Region	100	2,54	0	0	0	0	100	2,66	0,44	No	Cumple	23
Properties of recycled aggregate concrete made from recycled aggregates with different amounts of old bonded mortars.	80	1.8	20	0.6	0	0	100	2.5	0,34	No	Cumple	65.4
Recycled aggregate concrete with incorporation of rice husk ash: mechanical properties and microstructure	100	2,01	0	0	0	0	100	2,63	0,4	No	Cumple	42,6
Influence of incorporation of rice husk ash and recycled coarse concrete aggregates on the properties of concrete	100	3,04	0	0	0	0	100	1,77	0,45	No	Cumple	21.2
Recycled concrete and brick dust as complements to Portland cement for more sustainable concrete	100	4,22	0	0	0	0	100	3,42	0,49	No	Cumple	47
Multiple recycling of polypropylene fiber reinforced concrete: influence of recycled aggregate properties on new concrete.	100	2,7	0	0	0	0	100	1,79	0,5	No	Cumple	25.3
Behavior of Reinforced Concrete Beams with Recycled Concrete Coarse Aggregates	100	2,69	0	0	0	0	100	1,98	0,44		Cumple	38,5

Titulo	%Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	%Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	%Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	%Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Agua/Cemento	Aditivo %	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Structural concrete with simultaneous incorporation of recycled concrete fine and coarse aggregates: Mechanical, durability and long-term properties.	100	2,79	0	0	100	2,35	0	0	0,45	No	No específica	61
Microstructural analysis of recycled concrete made with recycled concrete coarse aggregates.	100	1.94	0	0	0	0	100	2.11	0,36	No	No específica	37
Propriedades Mecânicas e de Durabilidade de Concreto com Agregado Reciclado	100	2,53	-	-	-	-	100	2,24	0,55	0,43	No específica	23
influence of the amount of recycled coarse aggregates and the production process on the properties of concrete with recycled aggregates	100	3,46	-	-	-	-	100	2,1	0,5	1,38	No cumple	38,26

Al realizar la revisión de los 50 documentos, hubo 5 investigaciones las cuales no tenían explícitamente la cantidad de materiales utilizados y tampoco la dosificación utilizada, aunque al ser estudios aprobados por revistas calificadas se puede tener constancia de que las resistencias a la compresión obtenidas son válidas, por lo que se tuvieron en cuenta para el presente documento. A continuación, se enseña cuales fueron estas 5 investigaciones.

Tabla 2. Investigaciones sin dosificaciones

Titulo	%Agregado grueso reciclado	%Agregado fino natural	Agua/Cemento	Aditivo %	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Sustainable concrete using recycled aggregates	100	100	0,57	-	Cumple	28
Application of recycled concrete aggregates for stabilization of clay reinforced with recycled tire polymer fibers and glass fibers	100	100	-	-	Cumple	23-28
Concrete with recycled aggregates as an urban sustainability project	100	-	0,5	No	Cumple	20,33
Effects of Mix Design and Functional Unit on Life Cycle Assessment of concrete with recycled aggregates: Evidence of CO2concrete	100	100	0,5	No	No especifica	26,65
Properties of recycled aggregate concrete designed with equivalent mortar volume mix design	100	100	0,45	-	Cumple	28,1

En las siguientes tablas se observarán investigaciones a las cuales se les agregó un elemento extra a la dosificación para analizar el comportamiento de dicho elemento en la mezcla, identificando si genera un cambio en la resistencia a la compresión, ya sea positiva o negativa.

Tabla 3. Dosificaciones con Cenizas Volantes y Micro Sílice

Titulo	% Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	% Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	% Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Cenizas volantes/ Cemento	Micro sílice/ Cemento	Agua/ Cemento	Aditivo %	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Evaluation of Strength of Finished Concrete with Recycled Aggregate	80	3,59	20	0,89	-	-	100	2,38	0,79	0,2	0,31	No	Cumple	73
Use of Coarse Recycled Concrete Aggregate in Ternary Blended Portland Cement Concrete	100	2,55	-	-	-	-	100	2,9	0,16	<i>Aquí se utilizó Escoria/ cemento 0,12</i>	0,5	5	Cumple	33

Tabla 4. Dosificación con Cal y Cenizas Volantes como 100% aglutinante

Titulo	% Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Aglutinante	% Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Aglutinante	% Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Aglutinante	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Aglutinante	Ca (OH) Cal/ Aglutinante	Agua/ Aglutinante	% Aditivo	Medida de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Concrete made of 100% recycled materials - Feasibility study	100	4,48	-	-	100	2,85	-	-	0,43	0,4	No	Cumple	12,8
NOTA: Las cenizas volantes son el aglutinante													

Tabla 5. Dosificación con Fibras de desecho

Titulo	% Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	% Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	% Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	% Fibras de desecho	Longitud de fibras de desecho (mm)	Agua/ Cemento	% Aditivo	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Pore structure and strength recycled concrete with waste fibers	100	2,96	-	-	-	-	100	1,81	0,08	19	0,5	No	Cumple	38,6

Tabla 6. Dosificación con Fibras de Polipropileno

Titulo	%Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	% Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	% Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	% Fibras de polipropileno	Agua/ Cemento	% Aditivo	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Evaluation of the behavior of recycled aggregate concrete reinforced with polypropylene fiber	100	2,12	-	-	-	-	100	1,5	1	0,45	No	Cumple	33,9

Tabla 7. Dosificación con 4 Aditivos

Titulo	% Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Cenizas volantes/ Cemento	Humo de sílice/ Cemento	Agua/ Cemento	Aditivo 1 agentes de resistencia temprana/ Cemento	Aditivo 2 superplastificante de policarboxilato/ Cemento	Aditivo 3 hidroxipropilmetil celulosa/ Cemento	Aditivo 4 Fibra de PVA/ Cemento	Medida de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Hardened properties of 3D printed concrete with recycled coarse aggregate	100	1,49	100	0,99	0,1	0,05	0,37	0,1	0,011	0,002	0,001	Cumple	38

Tabla 8. Dosificación con Escoria y Cenizas Volantes

Titulo	% Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	% Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	% Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Agua/ Cemento	Ceniza volante/ Cemento	Escoria/ cemento	Superplastificante/ Cemento	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Evaluation of the durability of concrete with recycled aggregates in a complex environment	100	3,55	0	0	0	0	100	2,97	0,7 - 0.8	0,3	0,15	0,03	Cumple	34.8

Tabla 9. Dosificación con Fibras de Vidrio

Titulo	% Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	% Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	% Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Agua/ Cemento	Fibra de vidrio	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Influence of glass fibers on the mechanical and durability performance of concrete with recycled aggregates.	100	2,46	0	0	0	0	100	2,32	0,55	19,5	Cumple	33

Al tener lista la matriz con las cincuenta investigaciones, entonces se procede a escoger las tres dosificaciones con la resistencia a la compresión más alta, esto con el fin de que se observe que el uso del 100% de agregados gruesos reciclados en una mezcla de concreto no es un impedimento para alcanzar la resistencia a la compresión de un concreto con agregados naturales.

Tabla 10. Top 3 de Investigaciones con el F'c más alto

Titulo	% Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	% Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	% Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Agua/ Cemento	% Aditivo	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Improving the mechanical and durability properties of concrete with recycled aggregates	100	0.72	0	0	0	0	100	0.67	0,48	No	Cumple	62.2
Improvement of the mechanical properties of concrete with recycled aggregate based on a new combination method between recycled aggregate and natural aggregate.	100	1.49	0	0	0	0	100	2.11	0,4	No	Cumple	57
Experimental and micromechanical research on the mechanical and durability properties of concrete with recycled aggregates	100	2.32	0	0	0	0	100	2.28	0,42	No	Cumple	56

Algo importante a destacar también de esta revisión de literatura, es que más allá de que el enfoque sea investigar acerca del agregado grueso reciclado en la mezcla de concreto, también se encontraron investigaciones con otros elementos reciclados que se evidencian desde la tabla 3 hasta la tabla 9. Es por esto que, se realiza la tabla 11 con las 3 mejores resistencias a la compresión brindadas por este tipo de mezclas, dejando en evidencia que hay materiales reciclados que proporcionan ciertas propiedades para ayudar a alcanzar la resistencia a la compresión al concreto.

Ilustración 10 Top 3 de Investigaciones (Con elementos extra reciclados) con el F'c más alto

Titulo	%Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	% Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	% Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Cenizas volantes/ Cemento	Micro sílice/ Cemento	Agua/ Cemento	% Aditivo	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Evaluation of Strength of Finished Concrete with Recycled Aggregate	80	3,59	20	0,89	-	-	100	2,38	0,79	0,2	0,31	No	Cumple	73
Titulo	% Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	% Agregado grueso natural	Agregado grueso natural/ Cemento	% Agregado fino reciclado	Agregado fino reciclado/ Cemento	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	% Fibras de desecho	Longitud de fibras de desecho (mm)	Agua/ Cemento	% Aditivo	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Pore structure and strength recycled concrete with waste fibers	100	2,96	-	-	-	-	100	1,81	0,08	19	0,5	No	Cumple	38,6

Título	% Agregado grueso reciclado	Agregado grueso reciclado/ Cemento	% Agregado fino natural	Agregado fino natural/ Cemento	Cenizas volantes/ Cemento	Humo de sílice/ Cemento	Agua/ Cemento	Aditivo 1 agentes de resistencia temprana/ Cemento	Aditivo 2 superplastificante de poli carboxilato/ Cemento	Aditivo 3 hidroxipropilmetil celulosa/ Cemento	Aditivo 4 Fibra de PVA/ Cemento	Medidas de la muestra	F'c a los 28 días (MPa)
Hardened properties of 3D printed concrete with recycled coarse aggregate	100	1,49	100	0,99	0,1	0,05	0,37	0,1	0,011	0,002	0,001	Cumple	38

Diferencia económica entre una mezcla de concreto con agregado grueso 100% reciclado y una con agregado grueso 0% reciclado

Se realizó un análisis económico, teniendo en cuenta que los precios promedio en la tabla a continuación fueron obtenidos a nivel nacional (Colombia). El agregado grueso reciclado fue cotizado en una planta de reciclaje presente en Medellín, Antioquia mientras que los precios de los demás materiales fueron obtenidos a partir de un promedio hecho de varias tiendas del país.

Tabla 11. Precio de Materiales

PRECIOS DE LOS MATERIALES		
MATERIALES	CONCRETO	
	CON 0% AGREGADO GRUESO RECICLADO	CON 100% AGREGADO GRUESO RECICLADO
Cemento (Pesos colombianos/kg)	\$ 729,65	\$ 729,65
Agregado fino (Pesos colombianos/m ³)	\$ 71.019,26	\$ 71.019,26
Agregado grueso (Pesos colombianos/m ³)	\$ 51.408,78	\$ 41.000,00
Agua (Pesos colombianos/m ³)	\$ 2.210,00	\$ 2.210,00

Para realizar un correcto estudio de la diferencia entre el valor de una mezcla con una dosimetría para un concreto convencional y una dosimetría para un concreto con agregados gruesos reciclados, se hicieron 2 tablas. La primera consta de las dosificaciones utilizadas para el estudio económico y la segunda consta del valor total de 1 m³ de concreto con cada una de esas dosimetrías, respectivamente. Para el concreto con 0% agregado grueso reciclado, la dosificación que se utilizó fue una convencional para un concreto de 27 MPa y se consultó a partir de diferentes constructoras, mientras que para el concreto con 100% agregado grueso reciclado se utilizó la dosificación de la investigación debido a que alcanzó, según sus resultados, la resistencia a la compresión de 27 MPa.

Tabla 12. Dosificación de cada mezcla

DOSIFICACIÓN PARA UN F'C 27 MPa		
	CONCRETO	
MATERIALES	CON 0% AGREGADO GRUESO RECICLADO(m ³)	CON 100% AGREGADO GRUESO RECICLADO(m ³)
Cemento	1	1
Agregado fino/cemento	2	1
Agregado grueso/cemento	2	1,8
Agua/cemento	0,45	0,53

Tabla 13. Precio de cada dosificación

PRECIO DE CADA DOSIFICACIÓN		
	CONCRETO	
MATERIALES	CON 0% AGREGADO GRUESO RECICLADO	CON 100% AGREGADO GRUESO RECICLADO
Cemento (Pesos colombianos/m ³)	\$ 268.146,38	\$ 268.146,38
Agregado fino (Pesos colombianos/m ³)	\$ 142.038,52	\$ 71.019,26
Agregado grueso (Pesos colombianos/m ³)	\$ 102.817,56	\$ 73.800,00
Agua (Pesos colombianos/m ³)	\$ 994,50	\$ 1.171,30
TOTAL	\$ 513.996,96	\$ 414.136,94

CONCLUSIONES

- Al hacer la revisión de la tabla 1 se puede visualizar que todos los ensayos cumplieron con la resistencia a la compresión ($F'c$) mínima establecida por la norma, la cual dice que los diseños de mezclas tienen que alcanzar una resistencia mecánica de por lo menos 17 MPa a los 28 días. Teniendo claro lo anterior, se concluye que las mezclas de concreto con agregado grueso reciclado si cumplen con la norma con respecto a la propiedad de la resistencia a la compresión, siempre y cuando se trabaje con ciertas dosificaciones especialmente hechas para este tipo de agregados.
- Desde la tabla 3 hasta la tabla 9 se pueden observar aquellas dosificaciones en las que se incluyen más materiales reciclados para hacer una mezcla más amigable al medio ambiente. Al realizar la revisión de esas tablas se puede observar que solamente una dosificación, presente en la investigación “Concrete made of 100% recycled materials - Feasibility study” (Martín Cyr, 2022) no alcanzó los 17MPa exigidos por la NSR-10 (Asociación colombiana sísmica, 2022), pero aun así la mayoría superó lo mínimo, por lo que es claro que hay diversas formas de hacer que el concreto sea aún más sostenible y ayudar así a mitigar los problemas ambientales que causa la creación de este compuesto que es tan utilizado a nivel mundial.
- Al revisar desde la tabla 11 hasta la tabla 13, se puede visualizar que un concreto con agregado grueso reciclado es más económico que un concreto convencional, esto debido a que los agregados gruesos reciclados provienen de como su nombre lo indica, un proceso de reciclado, lo cual los hacen materiales desechos que requieren de trabajo también en cuanto a su tratamiento después de ser recolectados, pasando por una serie de procesos mecánicos que al final los deja como agregados que se pueden utilizar nuevamente, mientras que el agregado natural de por sí, es un material de fácil acceso pero de un valor más alto por provenir directamente de la naturaleza.
- Desde el punto de vista sostenible, por medio de esta investigación se llegó a la conclusión de que el concreto con agregados gruesos reciclados cumple con las especificaciones exigidas por la NSR-10, así que, se puede disminuir el impacto ambiental que generan los desechos de las demoliciones y reutilizar estos residuos en nuevos concretos.

- Un punto importante, es que la nueva generación de ingenieros al pasar del tiempo se está interesando por incorporar al medio alternativas sostenibles y poder mitigar los impactos ambientales que generan la extracción de materia prima natural, esto lo podemos evidenciar en la ilustración 5.

Bibliografía

- Adam M. Knaack, Y. C. (2015). Behavior of Reinforced Concrete Beams with Recycled Concrete Coarse Aggregates. *Revista de Ingeniería Estructural y Vial*.
- Amor Ben Fraj, R. I. (2017). Recycled Aggregate Concrete - Recycling and Environmental Analysis: A Case Study of the Paris Region. *Construction and Building Materials*.
- Argos. (2022). *Agregados reciclados, que y para que?* Medellín: 360 en concreto. Obtenido de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/agregados-reciclados-que-y-para-que/>
- Asociación colombiana sísmica. (2022). *NSR-10*. MEDELLÍN: AIS. Obtenido de http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10_Titulo_C.pdf
- Avendano, J. (2021). Construcción sostenible: una oportunidad para el sector. *Semana*, 1.
- Ayodele Adessina, A. B.-F. (2019). Experimental and micromechanical research on the mechanical and durability properties of concrete with recycled aggregates. *Cement and Concrete Research*.
- Babar Alí, L. A. (2019). Influence of glass fibers on the mechanical and durability performance of concrete with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*.
- Bilal S. Hamad, A. H. (2018). Studies of the effect of recycled aggregates on the structural behavior of beams in flexure, shear and bond splitting. *Case Studies in Construction Materials*.
- C Frotté, C. N. (2017). Estudio das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. *Revista Materia*.
- C. Vivek Kumar, M. P. (2022). Evaluation of resistant characteristics and identification of dosage optimal with the impact of the partial replenishment of recycled coarse and fine aggregate. *Materials Today: Proceedings*.

- Carlos Bedoya, L. D. (2015). El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Revista ingeniería de construcción*.
- Chandra Sekhar Das, T. D. (2018). Evaluation of the behavior of recycled aggregate concrete reinforced with polypropylene fiber. *Construction and Building Materials*.
- Chao liu, W. Z. (2022). Recycled aggregate concrete with incorporation of rice husk ash: mechanical properties and microstructure. *Construction and Building Materials*.
- David de santos, B. M. (Octubre de 2011). *Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*. Obtenido de <http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/GestionResiduos2.pdf>
- Dawi, A. H. (2015). *Sustainable concrete using recycled aggregates*. Lebanon.
- Fernanda de Andrade Salgado, F. d. (2021). Properties of concrete with recycled aggregates with different methods of water control. *Revista Ibracon De Estructuras E Materials*.
- George Wardeh, E. G. (2019). Shear strength of beams reinforced concrete with recycled aggregates. *Advances In Structural Engineering*.
- Haitham AL Ajmani, F. S. (2019). Evaluation of Strength of Finished Concrete with Recycled Aggregate. *Buildings*.
- Hanghua Zhang, J. X.-s. (2022). Long-term shrinkage and mechanical properties of concrete with fully recycled aggregates: testing and modeling. *cement-concrete composites*.
- Hasan Jalilifar, F. S. (2021). Microstructural analysis of recycled concrete made with recycled concrete coarse aggregates. *Construction and Building Materials*.
- Huawei Liu, C. L. (2022). Hardened properties of 3D printed concrete with recycled coarse aggregate. *Cement and Concrete Research*.
- Icontec. (2022). *NTC 1377*. MEDELLÍN: Icontec. Obtenido de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-213-13.pdf>
- Invias. (2012). *INV-E 213*. MEDELLÍN: Instituto nacional de vias. Obtenido de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-213-13.pdf>

- J. Lavado, J. B. (2020). Fresh properties of concrete with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*.
- Jianzhuang Xiao, j. I. (2004). Mechanical properties of concrete with recycled aggregates under uniaxial loading. *Cement and Concrete Research*.
- Jinghai Zhou, T. K. (2019). Pore structure and strength recycled concrete with waste fibers. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*.
- Jorge De Brito, J. F. (2016). Structural material mechanical and durability properties and behaviour of recycled aggregates concrete. *Journal of Building Engineering*.
- Jorge Dimitriou, P. S. (2018). Improving the mechanical and durability properties of concrete with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*.
- Jorge Dimitriou, P. S. (2018). Mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón con áridos reciclados. *Construction and Building Materials*.
- Jose Luis Gutierrez, L. a. (2009). *Impacto Ambiental*. Lima: Universidad de los angeles de chimbote.
- Ki, J. (2021). Properties of recycled aggregate concrete designed with equivalent. *Construction and Building Materials*.
- Lauren Likes a, A. M. (2022). Recycled concrete and brick dust as complements to Portland cement for more sustainable concrete. *Journal of Cleaner Production*.
- Lihua Zhu, Q. N. (2022). Compressive strength and microstructural analysis of recycled coarse aggregate concrete treated with silica fume . *Construction and Building Materials*.
- M. Etxeberria, E. V. (2017). influence of the amount of recycled coarse aggregates and the production process on the properties of concrete with recycled aggregates. *Cement and Concrete Research*.
- Marco Pepe, E. A. (2016). A novel mix design methodology for concrete with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*.

- Martín Cyr, P. L. (2022). Concrete made of 100% recycled materials - Feasibility study. *Resources, Conservation & Recycling* .
- Michael J. McGinnis, M. D. (2017). Strength and stiffness of concrete with recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*.
- Milagro Barrios, M. J. (2019). *INFORME DE REVISION DE LITERATURA SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LOS RCD*. Santa Marta: Universidad Cooperativa de Colombia.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. (2010). *NSR-10*. BOGOTÁ.
- Mirian Velay-Lizancos, I. M.-L.-B. (2018). Concrete with fine and coarse recycled aggregates: evolution of the modulus of elasticity,. *Construction and Building Materials*.
- Mirian Velay-Lizancos, P. V.-B.-L. (2018). Effect of fine and coarse recycled concrete aggregate on the mechanical behavior of precast reinforced beams: Comparison of FE simulations,. *Construction and Building Materials*.
- Muhammed Ulucan, K. E. (2022). A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic and environmental . *Universidad de Firat, 23119 Elazig*.
- Nanya, C. S. (2021). Propriedades Mecânicas e de Durabilidade de Concreto com Agregado Reciclado. *Revista Materia*.
- Nassif Nazeer Thaickavil, P. W. (2018). Strength and durability of concrete containing recycled concrete aggregates. *Journal of Building Engineering*.
- Ngoc Kien Bui, S. T. (2017). Improvement of the mechanical properties of concrete with recycled aggregate based on a new combination method between recycled aggregate and natural aggregate. *Construction and Building Materials*.
- Nikola Tošić, D. P. (2022). Multiple recycling of polypropylene fiber reinforced concrete: influence of recycled aggregate properties on new concrete. *Construction and Building Materials*.

Pedro D, J. D. (2017). Structural concrete with simultaneous incorporation of recycled concrete fine and coarse aggregates: Mechanical, durability and long-term properties. *Construction and Building Materials*.

Piltan Tabatabaie Shourijeh, A. M. (2022). Application of recycled concrete aggregates for stabilization of clayreinforced with recycled tire polymer fibers and glass fibers. *Construction and Building Materials*.

Pinghua Zhu, Y. H. (2020). Evaluation of the durability of concrete with recycled aggregates in a complex environment. *Journal Of Cleaner Production*.

Rupali Subhasmita Padhi, R. K. (2018). "Influence of incorporation of rice husk ash and recycled coarse concrete. *Construction and Building Materials*.

Sajan K.C, R. A. (2022). Mechanical characterization of recycled concrete under various aggregate substitution scenarios. *Journal Of Cleaner Production*.

Seth Wagner, G. W. (2020). Use of Coarse Recycled Concrete Aggregate in Ternary Blended Portland Cement Concrete. *Transportation Research Record*.

Stefano Silva, L. E. (2021). Durability and shrinkage behavior of concrete made with coarse multi-recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*.

Tang yuxiang, J. X. (2022). Mechanical properties and uniaxial compressive stress-strain behavior of concrete with fully recycled aggregates. *Construction and Building Materials*.

Togay Ozbakkaloglu, A. G. (2018). Mechanical and durability properties of concrete with recycled aggregates: effect of recycled aggregate properties and content. *Journal Of Materials In Civil Engineering*.

Weiqi Xing, V. W. (2022). Effects of Mix Design and Functional Unit on Life Cycle Assessment of concrete with recycled aggregates: Evidence of CO₂concrete. *Construction and Building Materials*.

yuxi zhao, w. z. (2017). Properties of concrete with recycled aggregates with different methods of water control. *Construction and Building Materials*.

Zhen Hua Duan, C. S. (2014). Properties of recycled aggregate concrete made from recycled aggregates with different amounts of old bonded mortars. *Materials and Design*.

Zhihui Wang, c. z. (2022). Hormigón de áridos reciclados con incorporación de ceniza de cascarilla de arroz: propiedades mecánicas y microestructura. *Construction and Building Materials*.