

Análisis Comparativo de la Resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y el preparado con escombros de hormigón

Comparative Analysis of Compression Strength between Traditional Concrete and Concrete Prepared with Concrete Debris

Luis Felipe Contreras¹, David Mayorga-Amaguaya², Gabriela Peñafiel-Valla², Carlos Navarro-Peñaherrera²

¹ Universidad Técnica de Ambato, Dirección de Investigación y Desarrollo, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato - Ecuador, lf.contreras@uta.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8896-8264>

² Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato – Ecuador, lmayorga3479@uta.edu.ec

² Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato – Ecuador, lg.penafiel@uta.edu.ec

² Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato – Ecuador, cnavarro@uta.edu.ec

Resumen

La presente investigación busca solucionar el gran problema de contaminación que generan los residuos del sector de la construcción, en especial las demoliciones y escombros generados en las ciudades, aplicando la reutilización de estos materiales para reducir el volumen que se envía hacia los botaderos y de esta manera contribuir hacia un modelo de construcciones sustentables. Para ello, se determinó el porcentaje de agregado reciclado de hormigón que puede reemplazarse parcialmente por agregado natural grueso y su influencia en la resistencia a compresión, se recolectó hormigón reciclado proveniente de cilindros ensayados, residuos de aceras, entre otros y se determinó las propiedades de los agregados según las normas INEN y ASTM, posteriormente se efectuó la dosificación por el Método de la Densidad Óptima para una resistencia de 210 kg/cm² con el reemplazo de porcentajes de agregado reciclado desde 10, 15, 30, 60 y 100 % según el peso del agregado grueso, a su vez se elaboraron especímenes de hormigón preparado de la forma tradicional para la comparación de su resistencia. De esta manera, se identificó que a mayor cantidad de agregado reciclado la resistencia a compresión disminuye, evidenciando que es factible realizar reemplazos con porcentajes menores al 30 % dado que el 10 y 15 % presentan valores favorables de diseño de 214.54 y 211.57 Kg/cm² a los 28 días.

Palabras clave: Agregados, Concreto, Densidad Óptima, Hormigón Reciclado, Resistencia a Compresión.

Abstract

The purpose of this research is to address the significant pollution problem generated by construction waste, particularly demolition and debris generated in cities, by applying the reuse of these materials to decrease the volume sent to landfills and contribute to a sustainable construction model. To achieve this, the percentage of recycled concrete aggregate that can be partially replaced with coarse natural aggregate and its influence on compression strength was determined. Recycled concrete was collected from tested cylinders, sidewalk waste, among others and the aggregate properties were determined according to INEN and ASTM standards. Subsequently, the dosing was carried out by the Optimum Density Method for a strength of 210 kg/cm^2 with replacement percentages of recycled aggregate ranging from 10, 15, 30, 60, and 100% according to the weight of the coarse aggregate. Concrete specimens were also prepared in the traditional way to compare their strength. Therefore, it was identified that compression strength decreases as the amount of recycled aggregate increases, demonstrating that replacements with percentages lower than 30% are feasible since 10% and 15% show favorable design values of 214.54 and 211.57 Kg/cm^2 at 28 days."

Keywords: Aggregates, Compressive Strength, Concrete, Optimum Density, Recycled Concrete.

Introducción

Dentro de la historia de la construcción el hormigón siempre ha sobresalido como material esencial en las obras civiles por sus propiedades de resistencia mecánica y al fuego características fuertemente valoradas que favorecen a las estructuras, la amplia difusión de los conocimientos que se tiene lo sitúan entre los materiales principales más utilizados en la propia industria de la construcción. (Pérez Oyarzún et al., 2021)

El hormigón es uno de los materiales de mayor producción y utilización en obras civiles siendo la principal razón de generar una gran cantidad de volúmenes de residuos y desperdicios debido al derrocamiento de infraestructuras inservibles por otras totalmente funcionales, en varios países europeos se ha impulsado el reciclaje de este material lo cual ha ayudado en la reducción de costos de fabricación y disminución del impacto ambiental. (Mendoza & Chávez, 2017)

El inminente problema generado son los grandes volúmenes de residuos de construcción y demolición debido al incremento del desarrollo económico, crecimiento poblacional, ordenamiento territorial entre otros. Dichos residuos presentan inconvenientes aún mayores que van desde su generación, transporte y disposición final, se considera que el 10% de los materiales utilizados se convierten en residuos y durante los trabajos de renovación y demolición se puede alcanzar hasta diez veces más. (Ceballos Medina et al., 2020)

La idea de la reutilización de materiales desechados de las construcciones y demoliciones con una adecuada selección, acopio y tratamiento para el reemplazo de agregados gruesos y

finos del hormigón tradicional abre paso para que en un futuro próximo se trabaje con técnicas de mortero reciclado generando estructuras eco amigables. Dentro de los beneficios que se quiere implantar es la disminución de puntos de contaminación alrededor de las ciudades por problemas de salubridad y la disposición exagerada de los vertederos dedicados a escombros. (Bolaños Noboa, 2015)

En los últimos años se ha brindado un mayor interés a la mentalidad del reciclaje y a la adquisición de materias primas alrededor de países en todo el mundo, es así que, en lugares como Alemania, Dinamarca entre otros, tienen un porcentaje alto de cantidad de material reciclado de desechos de hormigón provenientes de demoliciones, debido a las líneas de investigación que se han realizado sobre el manejo de hormigones reciclados por la importancia que genera a nivel ambiental y económico. (Moro, 2016)

A pesar de que en países europeos actualmente se maneja los agregados reciclados su utilización se sigue viendo muy limitada para efectos estructurales debido a las normativas que posee en cada país, es así como Reino Unido, España y Holanda se restringen su uso de un máximo del 20% mientras que Alemania es más flexible permitiendo hasta un 45% en el reemplazo de agregado y por otro lado en Dinamarca se permite sustituciones máximas del 100% dependiendo del caso de utilización sin embargo el gasto energético de la trituración, carga y transporte, reduce la factibilidad económica.(Ortiz et al., 2017)

En lo que involucra a Ecuador en materia de reciclaje de residuos hasta el momento no se tiene normativas que permita la gestión adecuada de desperdicios en cada etapa de la construcción, o por lo menos no se define puntualmente un tratamiento para disposición final de residuos, por lo que se intenta implantar planes de gestión que obligan al constructor a responsabilizarse de sus desperdicios. (Rea Lozano, 2017)

El grupo Holcim Ecuador con su empresa Geocycle ha tomado conciencia del gran problema de los desechos industriales, agrícolas y municipales, por lo que se ha convertido en proveedor líder de servicios de gestión de residuos, aplicando la tecnología del coprocesamiento ha logrado un desempeño ambiental superior al confinamiento y la incineración, gracias a la recuperación de materiales de desperdicio en las propias plantas de cemento ha generado un ambiente de beneficio a comunidades aledañas debido a la reducción de volúmenes confinados, siendo un claro ejemplo en el ámbito de la construcción que se puede conseguir un desarrollo sostenible si existen industrias capaces de buscar soluciones al ambiente en beneficio de todos. (HOLCIM, 2022)

Debido al incremento en la demanda de agregados naturales por características como el desarrollo de infraestructura se ha procurado a emplear el uso de agregado alternativo en el ámbito de la construcción, estos se los puede obtener de los residuos que genera la construcción y demolición para producir un agregado de hormigón sostenible, la calidad del nuevo agregado podría llegar a ser pobre por cuestión del mortero adherido en los mismos, en consecuencia podría presentarse como una debilidad para el nuevo hormigón a fabricarse debido a las fisuras y poros más abiertos causando una mayor hidratación dentro de los

componentes y provocando un efecto negativo en la resistencia del hormigón resultante (Jagan et al., 2021).

Los resultados indican que la resistencia a la compresión no es el único factor decisivo en las propiedades mecánicas y relacionadas con la durabilidad de los agregados reciclados. Se demuestra que las propiedades de diferentes mezclas de agregados reciclados de la misma resistencia a la compresión se ven afectadas por el tamaño y el contenido de los agregados gruesos.(Ozbakkaloglu et al., 2018)

En publicaciones previas de estudios realizados a los agregados reciclados se ha podido identificar que una de las diferencias más notoria entre los agregados reutilizados y los naturales, es la absorción de agua, siendo más elevada en el primer caso, debido a la presencia del mencionado mortero adherido. Lo que se ha visto reflejado en la succión capilar, penetración de cloruros, y otros parámetros que afectan la durabilidad del hormigón pero que pueden ser solucionados con la adición de diferentes aditivos o fibras, demostrando que el agregado reciclado se podría considerar como una opción viable y de brindarse más estudios para mejorar el rendimiento, métodos de recolección y tratamiento se proyectaría como una alternativa sostenible al campo de la construcción. (Tembhurne et al., 2018)

La utilización de árido reciclado procedente de escombros de hormigón debe limitarse a residuos constituidos prioritariamente de hormigón y su aplicación se restringe a la parte gruesa del material reciclado, recomendando una combinación de árido natural grueso del 20% de esta forma la mala calidad del agregado reciclado solo afectara a las propiedades mecánicas del hormigón, sin embargo comenta que los áridos reciclados no se deben utilizar en la fabricación de altas exigencias de resistencia. (Gutiérrez & Juan, 2015)

Santiago Laserna menciona que existen factores a tomar en cuenta en la fabricación de hormigones reciclados como es el agua efectiva y la humedad inicial parámetros importantes del agregado grueso reciclado debido a que se debe considerar la cantidad de agua disponible para que el cemento adherido a las partículas se hidrate permitiendo la optimización de la dosificación de la mezcla y mejores resultados en resistencia y consistencia, además que, un premezclado de los áridos conjuntamente con el cemento puede rellenar las fracciones débiles del árido con el polvo del cemento resultando un comportamiento satisfactorio. (Laserna Arcas, 2015)

De acuerdo con el estudio llevado a cabo por Sindy Seara-Paz se comprobó que en relación al porcentaje de sustitución del agregado natural por agregado reciclado se ven afectadas las propiedades físicas del hormigón como consistencia, densidad y absorción y que a medida que la densidad disminuye la absorción crece por lo que se sugiere un control riguroso en el proceso de amasado con el objetivo de controlar la relación a/c efectiva, por otra parte al aumentar la cantidad de árido reciclado utilizado las resistencias a compresión, tracción y el módulo de deformación disminuyen alrededor de un 30% a los 28 días de edad en comparación con muestras convencionales. (Seara-Paz, 2015)

Por su parte en el estudio de concreto reciclado a partir de escombros de mampostería de bloque de cemento elaborado en la ciudad de Managua, Nicaragua en el que se ha elaborado una propuesta de hormigón reciclado a partir de escombros triturados y tamizados determinando su granulometría y proponiendo una dosificación en base a estudios previos y ensayos según la norma ASTM, para lo cual se realizaron probetas cilíndricas para ensayos de compresión y pruebas de velocidad de pulso ultrasónico, los resultados mostraron que se discreta la afirmación de a menos relación agua cemento mayor resistencia en hormigones convencionales pero esto no aplicaría para hormigones reciclados debido a que también dependería de la cantidad y calidad del concreto, si su origen inicial para el que fue elaborado para resistencias bajas se obtendrá un concreto de baja calidad aunque su relación de agua cemento se disminuya, por otra parte si el origen inicial era de resistencias altas y en buen estado disminuyendo la relación agua cemento se logra obtener un buen comportamiento similar al de los tradicionales, de acuerdo a la resistencia a la compresión al tener una mayor cantidad de agregado reciclado su resistencia tiende a disminuir al ser más frágil que el agregado natural, mientras que en la prueba de pulso ultrasónico los resultados fueron prometedores al mantener márgenes superiores al concreto de mala calidad. (Aguilar Arriola et al., 2021)

En la investigación de concretos reciclados, posibilidades de investigación desde el pregrado su enfoque se basa principalmente en la búsqueda de alternativas para la reutilización de desechos como lo es en subbase para carreteras y en la integración de diseños de mezclas para elementos de concreto o piezas implementarias de construcciones en el cual se han realizado probetas cilíndricas de 10 x 20 cm con diferentes porcentajes tanto de agregado fino y grueso los mismos que pasaron por una cámara de curado para posteriormente ser ensayados a los 3, 7, 14, 28, 56 y 91 días de edad una vez ensayadas se evidencia una mayor cantidad de agregado grueso del tipo reciclado genera una menor resistencia al compararlo con las partículas finas, tanto las partículas gruesas como finas presentan variaciones pronunciadas al ser comparadas con las del hormigón tradicional con un porcentaje entre el 26 y 36%, además menciona que estos tipos de estudios abren las puertas en el mercado de la construcción pues con una inversión y tratamiento adecuado los productos resultantes podrían generar ganancias a quienes se vean incluidas en este tipo de actividades. (Rivera et al., 2020)

Carlos Bedoya y Luis Dzul en su investigación sobre la sostenibilidad urbana en la elaboración de concreto con agregado reciclado menciona que las características obtenidas del agregado reciclado presentan particularidades que pueden emplearse como materias primas a utilizarse en la construcción debido a que no todas las mezclas a emplearse son de utilización estructural sin embargo se puede obtener un buen desempeño si al confeccionar el concreto se determina que el desempeño a una sustitución del 25% se mantiene prácticamente igual en comportamiento, resistencia, porosidad y costos al del concreto convencional, se destaca que en la comparación que se realiza con respecto a los precios de confección presentan un valor muy parecido al de referencia a pesar de que consume una

mayor cantidad de cemento, el costo de la materia prima proveniente del reciclaje es menor al no ser de origen natural. (Bedoya & Dzul, 2015)

Por tal motivo este estudio tiene como objetivo analizar hormigones con material proveniente de desechos sólidos tales como los residuos que producen las obras de construcción, demolición y remodelación (concreto demolido) a partir de la trituración de este material para producir agregado grueso y determinar si se puede obtener una resistencia de hormigón estructural funcional que se pueda emplear en construcciones sustentables para el medio ambiente.

Metodología

Se recolecto material residual del botadero municipal de la ciudad de Pelileo correspondiente a Tungurahua - Ecuador, se seleccionó restos de losas y aceras, además se reunió cilindros de hormigón con fallas en su composición y que reposaban en los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.



Fuente: *Elaboración propia a partir de recolección de muestras (2023)*

Figura 1. *Material Residual recolectado*

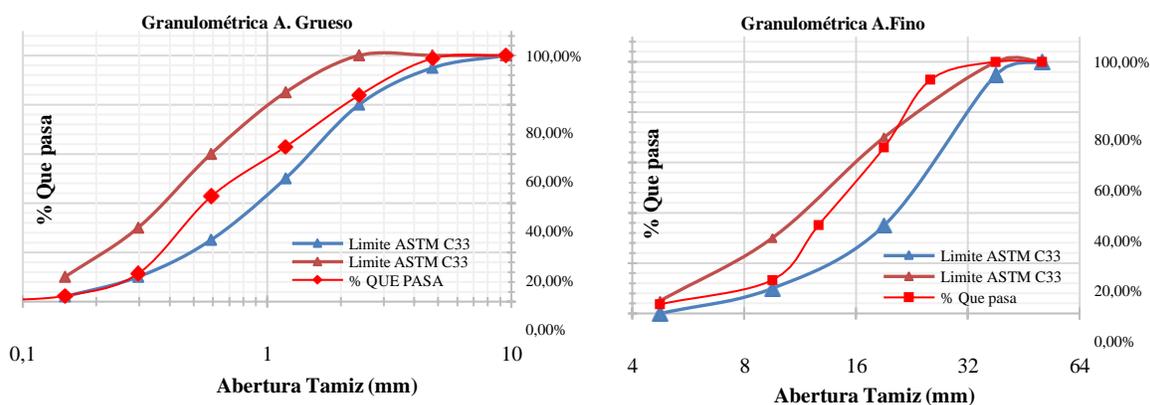
Se procedió a triturarlo con dos procesos de molienda, uno de mandíbulas y otro por cono. Los desperdicios fueron colocados en la parte alta de cada trituradora en el primer proceso se logró la destrucción de cilindros y trozos de aceras de gran tamaño en fragmentos más manipulables, en el segundo proceso, la trituradora de cono contaba con bandas transportadoras que tamizaba y expulsaba el material en tipos de piedra de diferente tamaño como es 1" $\frac{3}{4}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{8}$ y polvo de piedra



Fuente: Elaboración propia a partir de recolección de muestras (2023)

Figura 2. Maquinas Trituradoras empleadas

Al obtenerse el material reciclado como agregado grueso se realizó los ensayos correspondientes a las propiedades de los áridos gruesos y finos como es granulometría, densidades aparentes, densidades reales, densidades combinadas, capacidad de absorción, contenido de humedad, además se determinó las propiedades del cemento de tipo GU como es la densidad real con el que se elaboró el nuevo hormigón.



Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de granulometría de muestras (2023)

Figura 3. Granulometría Agregado Grueso y Fino

Tabla 1. Propiedades Mecánicas del Agregado Grueso y Fino

PROPIEDADES	Fino	Grueso	Unidades
Densidad suelta	1.49	1.34	gr/cm ³
Densidad compactada	1.62	1.50	gr/cm ³

Densidad real	2.50	2.53	gr/cm ³
Capacidad de absorción	1.54	1.39	%
Contenido de humedad	1.13	0.34	%
Densidad real (Cemento)	2.64		gr/cm ³
% óptimo de agregado fino	38	62	
Peso unitario máximo	1.85		gr/cm ³
Peso unitario óptimo	1.84		gr/cm ³

Fuente: *Elaboración propia a partir de resultados de propiedades mecánicas de muestras (2023)*

Tanto para los agregados gruesos y finos se determinó las propiedades mecánicas siguiendo la norma técnica ecuatoriana INEN y estadounidense ASTM para su realización de los diferentes ensayos.

Resultados y Discusión

Con los datos obtenidos de las propiedades mecánicas de los agregados descritos en la tabla anterior se procedió a preparar muestras de hormigón estructural con una dosificación para 210 kg/cm² y luego reemplazar el agregado grueso paulatinamente con el tipo de porcentaje de agregado reciclado correspondiente

Se empleo el método de la densidad óptima elaborado por la Universidad Central del Ecuador para el cálculo de la dosificación del hormigón. Este enfoque de diseño se basa en usar la menor cantidad de pasta necesaria para conseguir el hormigón de calidad que necesitamos obtener con una combinación de partículas que permita el menor porcentaje de vacíos.

Cabe recalcar que la dosificación se calcula bajo la idea de que los materiales empleados se encuentran en condición de humedad saturada superficialmente seca lo que es poco probable que suceda por lo que es necesario realizar una corrección por humedad de los áridos

Tabla 2. *Dosificación hormigón $f'c=210$ kg/cm²*

DOSIFICACIÓN FINAL HORMIGÓN $F'c=210$ Kg/cm ²			
Material		Cantidad para 9 cilindros bases	Cantidad para 12 cilindros por porcentaje
Denominación	Unidad		
Agua	L	2.91	3.88
Cemento	kg	4.57	6.10
Arena	kg	9.24	12.32
Ripio	kg	15.04	20.05
Volumen real	kg	31.76	42.35

Fuente: *Elaboración propia a partir de dosificación de hormigón (2023)*

Una vez encontrada la dosificación que alcance una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² se procedió reemplazar el agregado grueso paulatinamente con el tipo de porcentaje correspondiente de agregado reciclado de la siguiente manera se tomó el total de ripio en este caso de 20.05 kg se multiplico por el porcentaje requerido para 10% obteniendo 2.00 kg de agregado reciclado al cual se restó del agregado grueso obteniendo 18.05 kg

Tabla 3. *Dosificación hormigón por porcentaje de agregado reciclado*

DOSIFICACIÓN HORMIGÓN POR PORCENTAJE DE AGREGADO RECICLADO							
Material		Porcentaje de agregado reciclado					TOTAL
Denominación	Unidad	10%	15%	30%	60%	100%	
Agua	L	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	19.41
Cemento	kg	6.10	6.10	6.10	6.10	6.10	30.49
Arena	kg	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	61.61
Ripio	Kg	18.05	17.04	14.04	8.02	0.00	57.15
Reciclado	Kg	2.00	3.01	6.01	12.03	20.05	43.10

Fuente: *Elaboración propia a partir de dosificación de hormigón (2023)*

Entonces para el 10% de agregado reciclado se ocupó 2 kg de agregado reciclado con 18.04 de agregado natural grueso. Este procedimiento se realizó para 15%, 30%, 60% y 100%

Para la elaboración de muestras se siguió el procedimiento de las normas INEN 3124 Y ASTM C192 se utilizó moldes cilíndricos de acero con un diámetro de la sección transversal de 10 cm por una altura de 20 cm con el método de compactación por varillado colocando la mezcla de hormigón en dos capas, cada una es compactada con 25 golpes con una varilla de punta redonda de 10 mm de diámetro, posteriormente se procede a dar entre 10 y 15 golpes externos al molde. Se identifica en cada probeta el porcentaje de agregado grueso reciclado utilizado fecha y numero de cilindro

Se elaboraron un total de 69 especímenes entre hormigón reciclado y tradicional dividiendo en 60 muestras con porcentajes de reciclado y 9 muestras base para control y comparación. Para los 7 y 14 días se elaboraron un total de 15 probetas respectivamente mientras que para los 28 días se elaboró el doble de probetas

El resultado al combinar el cemento, árido fino, árido grueso y agua para formar una mezcla se denomina hormigón fresco la cual cuenta con propiedades como: trabajabilidad, asentamiento, consistencia y densidad las mismas que nos guía acerca del comportamiento que tendrá el hormigón en el futuro dando importancia al correcto diseño y utilización.

Tabla 4. *Propiedades en estado fresco*

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO F´C= 210 Kg/cm²		
Propiedades	Base	Porcentaje de agregado reciclado

		10%	15%	30%	60%	100%
Trabajabilidad	B	B	B	B	R	R
Asentamiento (cm)	7.50	7.50	7.50	7.00	7.00	6.50
Homogeneidad	MB	MB	MB	B	B	B
Consistencia	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda
Densidad	100.00%	97.87%	95.66%	94.28%	90.70%	88.08%
Variación con respecto al hormigón base	0.00%	2.13%	4.34%	5.72%	9.30%	11.92%

Fuente: *Elaboración propia a pdsificación de hormigón (2023)*

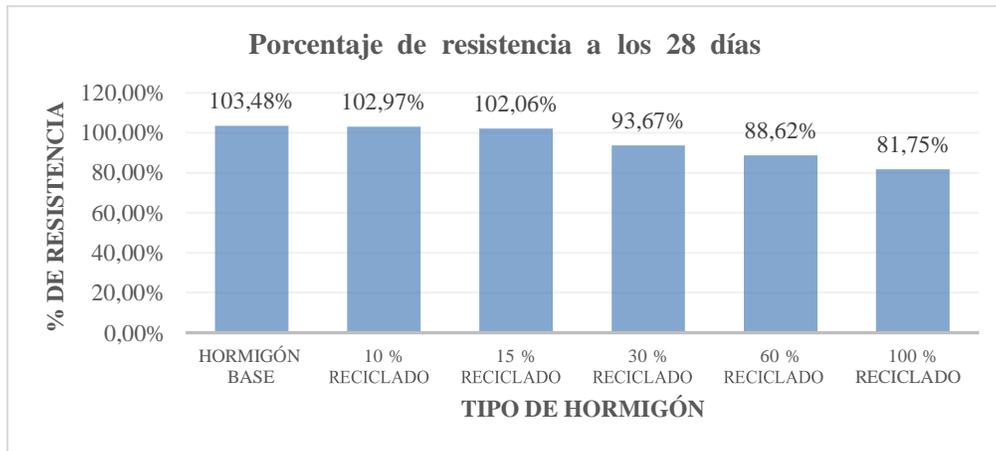
Se determinó las propiedades en estado fresco en los cilindros base, y agregado reciclado en 10 y 15% en los que se obtuvo una trabajabilidad buena, con un asentamiento de 7.50 cm y una homogeneidad muy buena, por otro lado para los cilindros para los porcentaje de 30% y 60% se obtuvo una trabajabilidad buena y regular respectivamente con un asentamiento de 7 cm para ambos porcentajes y una homogeneidad buena, mientras que para el 100% se obtuvo una trabajabilidad regular con un asentamiento de 6.50 cm y una homogeneidad buena. Para todas las probetas elaboradas su consistencia es blanda

Del resultado de las densidades se evidencia una clara variación siendo los hormigones base los más densos y los hormigones con 100% del agregado reciclado los de menor densidad obteniendo una variación en relación al porcentaje en 10% de reciclado de 2.13%, en 15% de reciclado de 4.34%, en 30% de reciclado de 5.72%, en 60% de reciclado del 9.30% y en 100% de reciclado del 11.92%. De lo cual se destaca que a una mayor cantidad de agregado reciclado modifica la densidad del hormigón en estado fresco

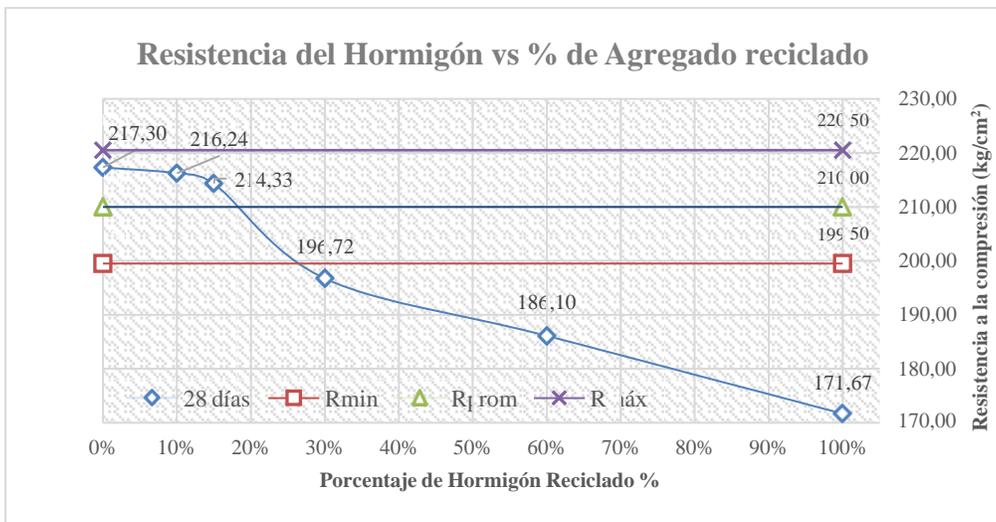
Se efectuó el ensayo a compresión a los 28 días de curado de las probetas de hormigón reciclado una vez ensayados se procede a almacenar los datos generados para cada cilindro generando una curva de tendencia gráfica que permita relacionar la resistencia y el tiempo de curado del hormigón reciclado y tradicional para compararlo con los parámetros que posee un hormigón preparado de la forma tradicional a una resistencia de 210 kg/cm²

Tabla 5. *Hormigón normal vs reciclado a los 28 días*

	HORMIGÓN BASE	10 % RECICLADO	15 % RECICLADO	30 % RECICLADO	60 % RECICLADO	100 % RECICLADO
	Resistencia kg/cm²					
28 Días	215.18	214.54	211.57	196.72	186.10	171.67
	103.48%	102.97%	102.06%	93.67%	88.62%	81.75%

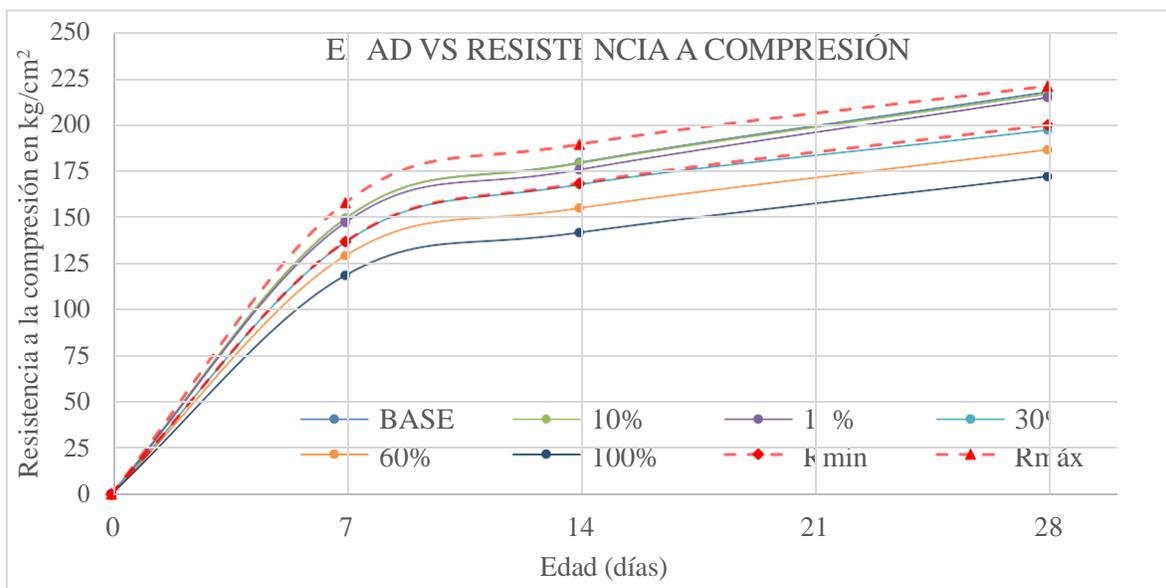


Fuente: Elaboración propia a partir de resistencia de hormigón en el tiempo (2023)



Fuente: Elaboración propia a partir de comparación resistencia de hormigón reciclado (2023)

Figura 4. Resistencia del Hormigón vs % de Agregado Reciclado



Fuente: Elaboración propia a partir de comparación edad vs resistencia a compresión (2023)

Figura 5. Edad vs. Resistencia a Compresión

En la figura 5 se expone el comportamiento de todas las resistencias con respecto a las mezclas de hormigón con agregado reciclado a través de las diferentes edades en la que se realizó el ensayo de compresión, la misma indica que los porcentajes ideales para el reemplazo de agregado grueso corresponde al 10 y 15% siendo aceptables en cuestión de rangos de diseño.

Conclusiones

Se analizó que los porcentajes del 10% y 15% son aquellos que se puede realizar reemplazos de agregado grueso por agregado reciclado sin existir diferencia considerable en sus resistencias y a partir del 30%, 60% y 100% se puede apreciar una disminución en las mismas del 6.81%, 14.86% y 21.73% respectivamente con respecto al hormigón base o tradicional.

Se comprobó que es factible la utilización de hormigones reciclados con porcentajes menores al 30% de agregado reciclado en condiciones normales debido a que se ha comprobado que a mayores cantidades de agregado de origen reciclado tiende a disminuir su resistencia a compresión, sin embargo, esta condición está muy ligada a la procedencia del hormigón reciclado y al proceso de trituración del material.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación y Desarrollo DIDE, Universidad Técnica de Ambato por el soporte de esta investigación mediante el proyecto #SFFICM4 “Hormigones preparados a partir de materiales reciclados, en la ciudad de Ambato, Provincia de Tungurahua”.

Referencias

- Aguilar Arriola, E. J., Hernández, E. F., & Espinoza, P. A. (2021). Concreto reciclado a partir de escombros de mampostería de bloque de cemento. *Nexo Revista Científica*, 34(05), 7–19. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i05.13099>
- Bedoya, C., & Dzul, L. (2015). Concrete with recycled aggregates as urban sustainability project. *Revista Ingeniería de Construcción*, 30(2), 99–108. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732015000200002>
- Bolaños Noboa, J. S. (2015). *Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigón*. 132. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2197>
- Ceballos Medina, S., González Rincón, D. C., & Sánchez, J. D. (2020). *Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC & D) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines*. 34(1), 27–35. <https://doi.org/10.18273/revion.v34n1-2021003>
- Gutiérrez, P. A., & Juan, M. S. de. (2015). Hormigón reciclado estructural: utilización de árido reciclado procedente de escombros de hormigón. *Revista Digital Del Cedex*, 0(179 SE-Artículos). <http://193.145.71.12/index.php/ingenieria-civil/article/view/530>
- HOLCIM. (2022). *GEOCYCLE, POR UN FUTURO SIN RESIDUOS*. Holcim Ecuador. <https://www.holcim.com.ec/comunicandonos/ultima-edicion/latest-release/article/geocycle-por-un-futuro-sin-residuos>
- Jagan, S., Neelakantan, T. R., & Saravanakumar, P. (2021). Mechanical properties of recycled aggregate concrete treated by variation in mixing approaches. *Revista de La Construcción*, 20(2), 236–248. <https://doi.org/10.7764/RDLC.20.2.35>
- Laserna Arcas, S. (2015). *Avances en el comportamiento del hormigón reciclado: fabricación, propiedades mecánicas y simulación numérica*. 280.

<http://hdl.handle.net/10578/7411>

- Mendoza, I., & Chávez, S. (2017). Revista de Ingeniería Civil Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo. *Diciembre, 1(2)*, 9–14. www.ecorfan.org/republicoferu
- Moro, J. M. (2016). *Caracterización y durabilidad de hormigones reciclados. Corrosión de armaduras*. 233. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/4627/1/TESIS DOCTORAL - JUAN MANUEL MORO - Caracterización y durabilidad de hormigones reciclados. Corrosión de armaduras.pdf>
- Ortiz, J. A., de la Fuente, A., Mena Sebastia, F., Segura, I., & Aguado, A. (2017). Steel-fibre-reinforced self-compacting concrete with 100% recycled mixed aggregates suitable for structural applications. *Construction and Building Materials, 156*, 230–241. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.188>
- Ozbakkaloglu, T., Gholampour, A., & Xie, T. (2018). Mechanical and Durability Properties of Recycled Aggregate Concrete: Effect of Recycled Aggregate Properties and Content. *Journal of Materials in Civil Engineering, 30(2)*. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002142](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002142)
- Pérez Oyarzún, F., Booth Pinochet, R., Vásquez Zaldívar, C., & Muñoz Lozano, Y. (2021). Cimentando el centenario: el hormigón en tres edificios de Santiago de Chile a comienzos del siglo XX. *Atenea (Concepción), 26(523)*, 39–62. <https://doi.org/10.29393/ata523-409fpcc40409>
- Rea Lozano, A. E. (2017). Gestión De Residuos En La Construcción : Plan De Gestión De Residuos Generados En Construcciones De Vivienda Multifamiliar En El Ecuador. *Repositorio Digital de La Universidad de Cuenca*, 1–81.
- Rivera, E., Guerrero, R., Espinoza, P., Millon, G., & Áreas, E. (2020). Recycled concrete : chances to research in pre graduate. *Revista Arquitectura +*, 5, 28–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/arquitectura.v9i5.9918>
- Seara-Paz, S. (2015). Efecto de las deformaciones diferidas sobre la respuesta estructural a flexión y análisis del comportamiento adherente del hormigón reciclado. *E.T.S. Enxeñeiros de Camiños, Canais e Portos. Universidade Da Coruña. Departamento de Tecnoloxía Da Construción*, 254.
- Tembhurne, R. S., Makwana, M. M., & Kulkarni, M. S. (2018). Strength & Durability Parameter of Recycled Concrete Aggregate. *International Journal of Science Technology & Engineering, 5(3)*, 1–10. <https://www.ijste.org/articles/IJSTEV5I3021.pdf>