



Elaboración de hormigón de resistencia de 21 MPa empleando agregado grueso reciclado

Preparation of concrete with a resistance of 21 MPa using recycled coarse aggregate

Preparação de concreto com resistência de 21 MPa utilizando agregado graúdo reciclado

Jennifer Vanessa Vásquez-Villegas^I
jvasquez8753@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7495-7628>

Álvaro German Vélez-Rezabala^{II}
avelez5645@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6067-1496>

Wilter Enrique Ruiz-Párraga^{III}
wilter.ruiz@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0045-9781>

Correspondencia: jvasquez8753@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 13 de octubre de 2022 * **Aceptado:** 28 de noviembre de 2022 * **Publicado:** 08 de diciembre de 2022

- I. Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Portoviejo, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Portoviejo, Ecuador.
- III. Máster en Docencia e Investigación Educativa, Máster en Ingeniería Civil, Mención Tecnología de los Materiales de Construcción, Profesor Titular en la Universidad Técnica de Manabí Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas Departamento de Construcciones Civiles Carrera de Ingeniería Civil, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

Esta investigación, se orientó en diseñar un hormigón de resistencia de 21MPa empleando agregado grueso reciclado en sustitución parcial del 10, 20 y 40%, porcentajes que fueron considerados previos al análisis de investigación desarrollados en otros países, para éste diseño se recopiló material reciclado en un centro de acopio de la ciudad de Portoviejo y el material nuevo en una de las canteras ubicadas en la vía Picoazá cuya roca de producción es de tipo basáltica. Se realizaron ensayos físicos y mecánicos a los agregados naturales y a los reciclados empleando las normas técnicas vigentes en el Ecuador NTE-INEN. El objetivo de esta investigación fue; determinar la resistencia mecánica del hormigón de 21MPa empleando en su elaboración la sustitución parcial del agregado grueso con material reciclado. Para alcanzar esta meta se obtuvieron los materiales reciclados para posteriormente hacer los ensayos tanto a ellos como a los áridos naturales, luego se realizó la dosificación aplicando lo establecido por el ACI en la normativa 211.1, se realizaron ensayos al hormigón fresco, al hormigón endurecido a través de la resistencia a la compresión, producto de este ensayo se determinó que los hormigones que tienen sustituciones de agregado grueso reciclado en un 40% resultaron con mayor resistencia a la compresión que los hormigones que tenían porcentajes del 10% y 20%.

Palabras clave: Agregados reciclados; Resistencia a compresión, Agregados naturales; Rocas basálticas.

Abstract

This research was oriented towards designing a 21MPa resistance concrete using recycled coarse aggregate in partial substitution of 10, 20 and 40%, percentages that were considered prior to the analysis of research carried out in other countries, for this design recycled material was collected in a collection center in the city of Portoviejo and the new material in one of the quarries located on the Picoazá road, whose production rock is of the basaltic type. Physical and mechanical tests were carried out on the natural aggregates and the recycled ones using the technical standards in force in Ecuador NTE-INEN. The objective of this investigation was; determine the mechanical resistance of the 21MPa concrete using in its elaboration the partial substitution of the coarse aggregate with recycled material. To achieve this goal, the recycled materials were obtained to later carry out the tests both on them and on the natural aggregates, then the dosage was carried

out applying the provisions of the ACI in regulation 211.1, tests were carried out on fresh concrete, on concrete hardened at Through the compressive strength, as a result of this test, it was determined that the concretes that have 40% recycled coarse aggregate substitutions resulted in greater compressive strength than the concretes that had percentages of 10% and 20% .

Keywords: Recycled aggregates; Compressive strength, Natural aggregates; Basaltic rocks.

Resumo

Esta pesquisa foi orientada para projetar um concreto resistente de 21MPa usando agregado graúdo reciclado em substituição parcial de 10, 20 e 40%, percentuais que foram considerados antes da análise de pesquisas realizadas em outros países, para este projeto foi coletado material reciclado em um centro de coleta na cidade de Portoviejo e o novo material em uma das pedreiras localizadas na estrada Picoazá, cuja rocha produtora é do tipo basáltico. Foram realizados ensaios físicos e mecânicos nos agregados naturais e nos reciclados utilizando as normas técnicas vigentes no Equador NTE-INEN. O objetivo desta investigação foi; determinar a resistência mecânica do concreto de 21MPa utilizando em sua elaboração a substituição parcial do agregado graúdo por material reciclado. Para atingir este objetivo, foram obtidos os materiais reciclados para posteriormente realizar os testes tanto neles quanto nos agregados naturais, então a dosagem foi realizada aplicando o disposto no ACI no regulamento 211.1, os testes foram realizados em concreto fresco, em concreto endurecido em Através da resistência à compressão, como resultado deste ensaio, foi determinado que os concretos que possuem 40% de substituições de agregado graúdo reciclado resultaram em maior resistência à compressão do que os concretos que tiveram porcentagens de 10% e 20% .

Palavras-chave: Agregados reciclados; Resistência à compressão, Agregados naturais; Rochas basálticas.

Introducción

El agregado grueso es idóneo dentro del campo de las construcciones civiles, para la obtención del mismo, se realiza mediante explotación de minas en donde exista este material pétreo. Actualmente se han creado numerosas normativas y estándares internacionales, con el objetivo

que la producción de este material sea la más adecuada y sobretodo permita conseguir los mejores resultados a la hora de crear tipos de hormigones con diferentes resistencias.

Considerando que la producción de estos materiales no se detiene, su demanda va en aumento y el impacto ambiental a causa de la agresiva explotación es negativo; se buscan otras alternativas para satisfacer las necesidades constructivas en cuanto a la reutilización de este material.

El reciclaje de residuos de hormigón, ha sido de interés en varios países industrializados alrededor del mundo, como Holanda, Dinamarca, Alemania, España etc., Estos han generado beneficios económicos y sobre todo ambientales según (Castillo M. A., 2018). Es por ello que, el principal enfoque de esta investigación es diseñar un hormigón con sustitución parcial de agregado grueso reciclado, éste material será adquirido de escombreras de la ciudad de Portoviejo y el material pétreo natural, será considerado desde una de las canteras con mayor producción dentro de la misma localidad.

Por otra parte, también se pretende demostrar que mediante el uso de agregado grueso reciclado en el diseño de hormigón se puede lograr una construcción resistente y durable (Sánchez Isidro, 2019), totalmente segura, para así poder brindar un servicio de calidad a la ciudadanía.

Este tipo de residuos al estar compuesto principalmente por material pétreo tiene una alta posibilidad de recuperación y reutilización tras ser transformados en áridos reciclados, presentándose como una de las oportunidades para el sector de la construcción, generando nuevas alternativas encaminadas hacia la sostenibilidad. (Morales, 2013).

Metodología

Materiales

Para el diseño de hormigones con resistencia de 21MPa, en la presente investigación se emplearon los materiales que se detallan a continuación.

Cemento portland tipo GU, definido como un polvo finamente molido, constituido principalmente por piedras calizas y arcillosas que son sometidas a altas temperaturas que van de 1350 a 1450 oC para formar el Clinker (Construmática, 2018).

En base a la clasificación de cementos como lo muestra la (NTE INEN 2380, 2011) y como lo indica el fabricante según (NTE INEN 156, 2009) la densidad usada en la dosificación es de 3150Kg/m³.

Los residuos de la construcción y demolición (RCD), que para la presente investigación se empleó solamente agregado grueso reciclado, se lo obtuvo de una escombrera ubicada en el Km 5 vía Portoviejo-Manta, empleándose material de elementos estructurales que se encontraban en este sector.

El agregado natural se lo obtuvo de una de las canteras de mayor producción de la ciudad de Portoviejo, ubicada en la vía a Picoazá, la roca de la cual procede es de tipo basáltico.

Métodos

A continuación, se describen el método experimental utilizado en el presente trabajo, el mismo que se llevó a través de etapas.

Etapas 1: Selección de muestras

Para la selección de la muestra se emplearon los criterios establecidos en la (NTE INEN 2 556, 2010), el material reciclado seleccionado (árido grueso), fue adquirido en una de las escombreras ubicada en el km 5 vía Portoviejo- Manta, este material fue triturado a través de instrumentos mecánicos y posterior a ello se le realizaron los ensayos correspondientes según lo establecen las normas técnicas del Ecuador (NTE INEN 872, 2010).

Etapas 2: Ensayos de Laboratorio

Se efectuaron los ensayos a los agregados naturales y reciclados atendiendo a las normas técnicas del Ecuador, las mismas que se detallan a continuación:

Granulometría como lo indica la norma NTE INEN 696, se determina mediante un análisis granulométrico de una muestra definida que pasa por una secuencia de tamices normalizados ordenados por el tamaño de abertura de la malla de cada uno en forma decreciente. Por su tamaño los agregados en el hormigón son; los agregados gruesos, pasantes por el tamiz $\frac{3}{4}$ y agregado fino pasante al tamiz #4. Se detalla en las tablas 1,2,3

Figura 1: Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino NTE-INEN 872.

Tamiz	% Arena homogenizada
3/8"	100
Nº 4	100
Nº 8	89.74
Nº 16	58.67
Nº 30	37.69
Nº 50	24.81
Nº 100	12.62
Nº 200	4.47

Del análisis granulométrico, se obtuvo el módulo de finura, el mismo que corresponde a las arenas de trituración de rocas procedentes de canteras, cumpliendo con el rango que establece NTE INEN 872 5.1.2.2., es decir entre los valores 2,3 a 3,1.

Figura 2: Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso natural NTE-INEN 872.

Pasa Tamiz	% Natural
1"	100
3/4"	100
1/2"	52,12
3/8"	18,74
Nº4	0,24
Nº8	0,16

Se determinó que tamaño máximo nominal del agregado grueso naturales es de 1.25cm, para proceder a la dosificación del hormigón.

Figura 3: Ensayo de análisis granulométrico del árido reciclado NTE-INEN 872

Pasa Tamiz	% Reciclado
1"	100
3/4"	100
1/2"	46,29
3/8"	29,55
N°4	12,63
N°8	7,28

Se determinó que el tamaño máximo nominal del árido reciclado es de 1.25 cm para proceder a la dosificación del hormigón.

Densidad: Entre el 60 y el 75 % de una mezcla de hormigón se compone de áridos pétreos; debido a que juegan un papel importante en el diseño del hormigón, es significativo conocer la densidad real de estos materiales.

Absorción: Se define como el aumento de la masa del árido debido a la penetración de agua en los poros de las partículas en un momento dado, con excepción del agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresada como porcentaje de la masa seca.

A continuación, se muestra la tabla 4 con los valores de densidad y absorción de los áridos naturales y reciclados.

Figura 4: Ensayo de pesos unitarios sueltos y compactados de los agregados NTE INEN 857

Agregados	Densidad unitario suelto(Kg/M3)	peso unitario compactado (Kg/M3)	Densidad P. Absorción (%
Fino	1074	1298	4.37
Arido Grueso Natural	1258	1403	5.22
Arido Grueso Reciclado	1182	1276	5.60

Etapa 3: Diseño de mezcla

El diseño de hormigón implica conocer las proporciones de sus elementos que deben combinarse para producir una mezcla que satisfaga un conjunto de condiciones técnicas, deben seleccionarse de acuerdo con el método de uso de los materiales de la manera más eficaz. La dosificación de la mezcla depende de los materiales que se utilizarán, como el cemento, agua, aditivos y agregados según las especificaciones dadas por la norma ACI 211.1

De la dosificación del hormigón de 21MPa se obtienen las proporciones para un m³ las cuales se detallan en la tabla 5

Figura 5: Diseño de Hormigón 1 m³

Material	Hormigón al 0% de agregados(Kg)	Hormigón al 10% de agregados(Kg)	Hormigón al 20% de agregados (Kg)	Hormigón al 40% de agregados(Kg)
Cemento	392,73	392,73	392,73	392,73
Arido natural	982,5	884,25	786	589,5
Aridos reciclados	0	98,25	196,5	393
Arena	646,13	646,13	646,13	646,13
Agua	216,00 L	216,00 L	216,00 L	216,00 L
Aditivo	1,4L	1,4 L	1,4 L	1,4 L
Relación A/C	0,55	0,55	0,55	0,55
% de aire confinado	0,025	0,025	0,025	0,025

Etapa 4: Ensayos de resistencia a la compresión

Para el ensayo de resistencia a la compresión se efectuaron las rupturas de los cilindros a las edades 7, 14 y 28 días, considerando lo que indica la (NTE INEN 1 573, 2010) lo establecido en la misma norma determina que el día 28 es de mayor relevancia, debido a que en este se obtiene la máxima resistencia a la compresión del hormigón, como se muestra la tabla 6 y figuras 1,2,3,4.

Figura 6: Resultados de Resistencias a la compresión (MPa).

Edades	H.Patròn	H.10%	H.20%	H.40%
7 días	13,82	12,98	14,09	14,68
14 días	18,76	18,00	18,3	20,22
28 días	22,87	21,47	21,97	24,08

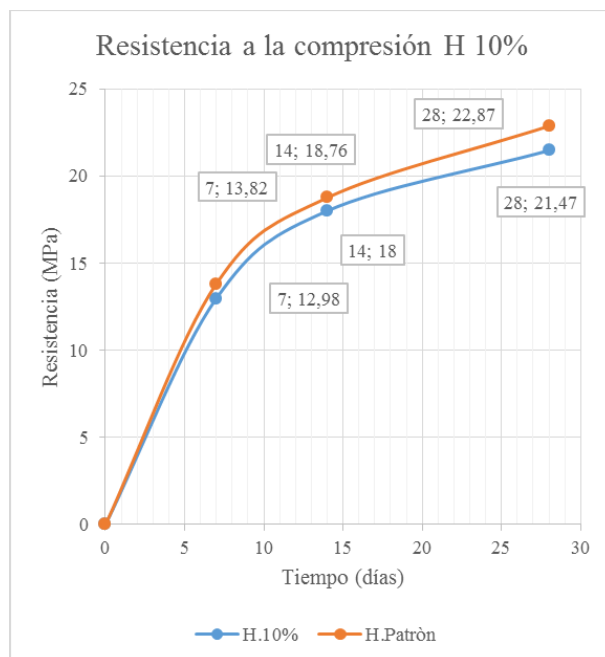


Figura 7: Ensayo de compresión axial en el hormigón al 10%.

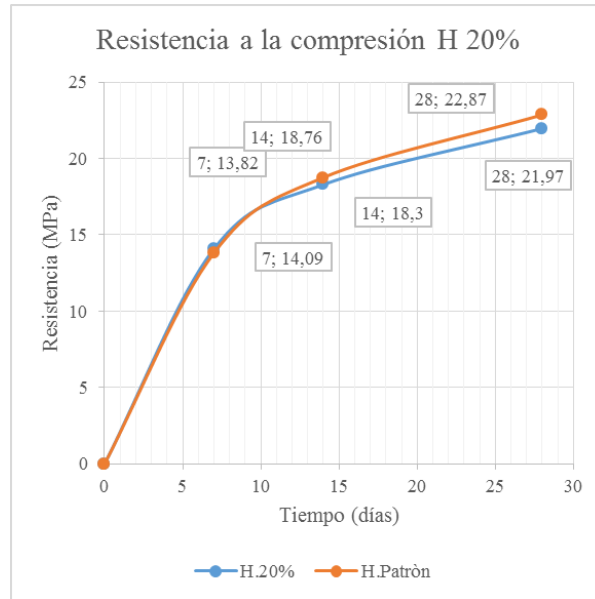


Figura 8: Ensayo de compresión axial en el hormigón al 20%.

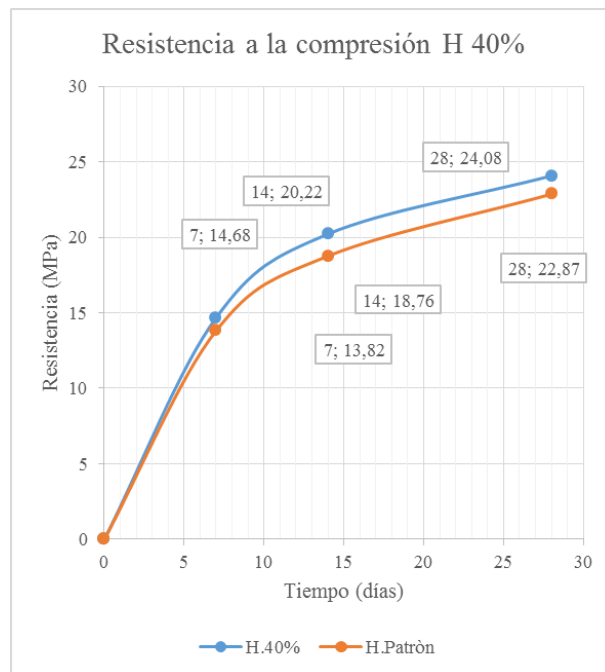


Figura 9: Ensayo de compresión axial en el hormigón 40%.

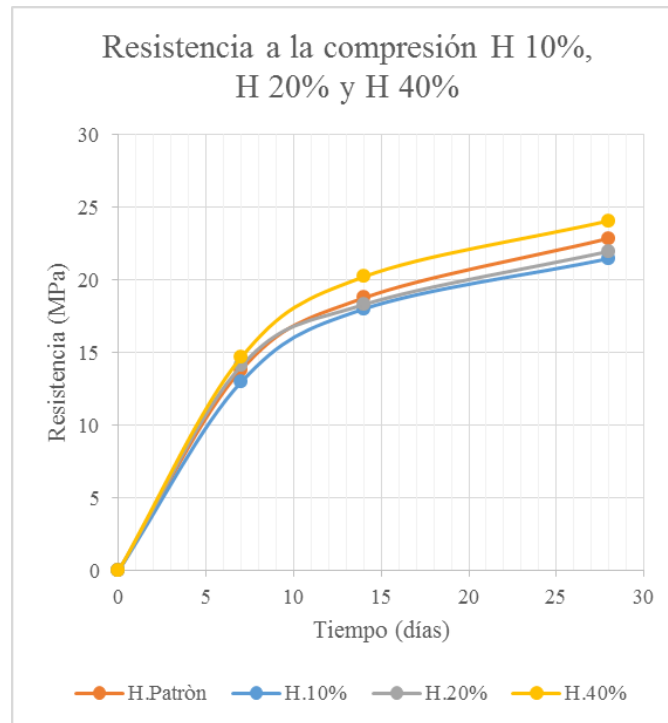


Figura 10: Datos generalizados de Resistencias a la compresión (MPa).

Conclusiones

Desarrollada la investigación se presentan las siguientes conclusiones.

- Los agregados gruesos reciclados cumplen con los ensayos de la norma técnica ecuatoriana para ser empleados en la elaboración de hormigones.
- Los valores en sustitución al 10%, 20% y 40 % de agregados gruesos reciclados cumplen con los ensayos de resistencias a compresión, realizados a los cilindros que fueron considerados como testigos en este ensayo, obteniéndose resistencias mayores a 21MPa.
- Se determina que la mezcla con contenido del 40% de agregado reciclado se destaca de las otras, ya que en los periodos de curado evaluados (7, 14 y 28 días) se mantuvo continuamente en rangos superiores a los obtenidos al ensayar la muestra patrón.

Referencias

1. ASTM C-136. . (s.f.). Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso. Obtenido de <https://www.uca.edu.sv/mecanica->

estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOM
ETRIA.pdf

2. Castillo, M. A. (2018). ALGUNAS CONSIDERACIONES TEÓRICAS SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CONCRETO. REVISTA CARIBEÑA DE CIENCIAS SOCIALES, 17.
3. Construmática. (11 de Septiembre de 2018). Construmática. Obtenido de <https://www.construmatica.com/construpedia/Clinker>
4. Morales, M. M. (2013). Dialnet. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=59230>
5. NTE INEN 1 573, 2. (2010). HORIZÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORIZÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1573.pdf>
6. NTE INEN 152. (2010). Cemento hidraulico. Definicion de terminos, Instituto Ecuatoriano de Normalización. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/152.pdf>
7. NTE INEN 156. (2009). Cemento hidráulico. Determinación de la densidad. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/156.pdf>
8. NTE INEN 2 556, 2. (2010). Áridos, reducción de muestras a tamaños de ensayo. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>
9. NTE INEN 2380. (2011). Cemento hidráulico. Definicion de terminos Instituto Ecuatoriano de Normalización. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2380.pdf>
10. NTE INEN 694. (2010). Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/694-1.pdf>
11. NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/696.pdf>
12. NTE INEN 860. (2011). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/860.pdf>

13. NTE INEN 862. (2011). Áridos Para Hormigón. Determinación Del Contenido Total De Humedad. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/862.pdf>
14. NTE INEN 872. (2011). Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>
15. NTE INEN 872. (2011). Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>
16. Sánchez Isidro, P. C. (2019). Los residuos de construcción y demolición (RCD) y las escorias de central térmica como áridos para la elaboración de hormigones y prefabricados no estructurales. Estudio en laboratorio y aplicación industria. Universidad de Aliante, 80.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).