

DISEÑO DE HORMIGÓN CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

CONCRETE DESIGN INCORPORATING AGRO-INDUSTRIAL WASTE AND ITS IMPACT ON COMPRESSIVE STRENGTH

César Leonardo Ponce Véliz^{1*}

¹ Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8969-7397>. Correo: cponce8436@utm.edu.ec

María Shirlendy Guerrero Alcívar²

² Docente de la Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Portoviejo. Ecuador. Magister en Educación y Desarrollo Social. Maestría en Ingeniería Ambiental - Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” de Cuba. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4912-5717>. Correo: maría.guerrero@utm.edu.ec

* Autor para correspondencia: cponce8436@utm.edu.ec

Resumen

La presente investigación tuvo como fin valorar la resistencia a la compresión del hormigón con la incorporación de residuos agroindustriales; cáscara de maní, huevo y arroz, previamente triturados y tamizados. Se elaboró una dosificación de hormigón de referencia con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² en base a los lineamientos normativos establecidos por el ACI 211.1, realizando muestreos por separados empleando la misma dosificación de referencia y aplicando cada material con una sustitución del 10% en relación al peso del cemento. Las propiedades de los agregados pétreos fueron determinadas con procesos normativos del Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. Se analizó el revenimiento de cada mezcla dosificada, permitiendo identificar el comportamiento en estado fresco del hormigón, notando reducción de trabajabilidad como también un ligero aumento. Las probetas de ensayo fueron testigos cilíndricos sometidos a carga a la edad de ensayo de 7, 14 y 28 días para determinar la resistencia a la compresión. Los resultados evidencian reducción en la resistencia mecánica del hormigón tomando como referencia la dosificación de hormigón patrón, sin interferir en la hidratación del cemento. El empleo de estos residuos reduce el consumo de cemento, mitiga el impacto ambiental y resulta conveniente para elementos no estructurales.

Palabras clave: residuos agroindustriales; hormigón; diseño de mezclas; resistencia a la compresión; materiales cementantes

Abstract

The purpose of this research was to evaluate the compressive strength of concrete with the incorporation of agro-industrial waste: peanut shells, eggshells, and rice husks, previously crushed and sieved. A reference concrete mix with a compressive strength of 210 kg/cm² was prepared based on the regulatory guidelines established by ACI 211.1, carrying out separate samples using the same reference mix design and applying each material with a 10% substitution in relation to the weight of the cement. The properties of the stone aggregates were determined using the regulatory processes detailed by the Ecuadorian Institute of Standardization (INEN). The slump of each dosed mixture was analyzed, allowing the behavior of the concrete in its fresh state, noting a reduction in workability as well as a slight increase in it. The test specimens were cylindrical samples subjected to loading at test ages of 7, 14, and 28 days, to determine the compressive strength. The results obtained show a reduction in the mechanical strength of the concrete, taking as a reference the standard concrete dosage, without interfering with the hydration of the cement. The use of this waste reduces cement consumption, mitigates the environmental impact, and is suitable for non-structural elements.

Keywords: Agro-industrial waste; concrete; mix design; compressive strength; cementitious materials

Fecha de recibido: 28/11/2025

Fecha de aceptado: 19/02/2026

Fecha de publicado: 31/03/2026

Introducción

La búsqueda científica del desarrollo de materiales con características cementicias, compuestos minerales que, al mezclarse con agua, reaccionan químicamente para fraguar y endurecerse, ha tenido mayor demanda en las últimas décadas asociadas a la producción del cemento portland, con fines de reducir las emisiones de CO₂ (dióxido de carbono) que este presenta en el ámbito constructivo.

En este aspecto, la incorporación de residuos agroindustriales se plantea como un método viable para su incorporación en materiales cementantes como material suplementario, de adición mineral o en reemplazo de agregados finos. Desechos como la cascara de huevo, maní y arroz contienen composiciones químicas ricas en sílice amorfa, carbonato de calcio y otros compuestos potencialmente reactivos, los cuales actúan en los mecanismos de hidratación del cemento y en la estructura interna del hormigón una vez fraguado. Sus características presentan propiedades fundamentales para la evaluación de estos residuos agroindustriales en la compatibilidad y desempeño de mezclas de hormigón. El hormigón es uno de los materiales más utilizados en todo el mundo, de hecho, es preferido principalmente por sus propiedades térmicas y de resistencia, así como también por su alta durabilidad y bajo costo de mantenimiento (Islam, et al., 2022).

La presente investigación busca como objetivo elaborar el diseño de hormigón y determinar la resistencia a la compresión de especímenes tomados en laboratorio con la incorporación controlada de residuos agroindustriales como lo serán, la cascara de maní, arroz y huevo, evaluando la incidencia que estos producen en el comportamiento de la mezcla. Se aplicarán métodos normalizados para la respectiva dosificación, preparación y curado de los especímenes cilíndricos que darán paso a una correcta evaluación de la resistencia a la compresión como parámetro fundamental para su evaluación técnica en aplicaciones estructurales como no estructurales. Los resultados obtenidos permitirán aportar criterios técnicos para el desarrollo de hormigones sostenibles, mitigando el impacto ambiental en el sector constructivo. Paul et al. (2024) evidenciaron que la inclusión moderada de la ceniza de cáscara de arroz y polvo de cáscara de huevo como sustituto parcial en cierta proporción del cemento no perjudica la resistencia a la compresión en mezclas para su uso en morteros. Debido a las reacciones puzolánicas que presentan ambos, mejoran la compactación y continuidad del aglomerante cementicio, además se contribuye en la sostenibilidad del material.

Materiales y métodos

Materiales.

Cemento

El cemento es un aglomerante fundamental para el hormigón, encargado de unir los agregados presentes en la mezcla y de ofrecer resistencia al hormigón una vez endurecido, para esta investigación se usará un cemento hidráulico Holcim Fuerte tipo GU, este cemento cumple con los requerimientos detallados en la NTE INEN 2380.

Agregados

Los agregados implementados en esta investigación son provenientes de la cantera Megarok, parroquia Picoaza, cantón Portoviejo que deberán cumplir con los requerimientos establecidos en la NTE INEN 872:2011.

Árido fino

Cumple un papel fundamental en la mezcla de hormigón brindando trabajabilidad y cohesión, conformado en mayor cantidad por partículas menores que 4.75 mm, ocupando los espacios o vacíos generados por el árido grueso, las características que posee este agregado influyen en gran medida a la calidad de hormigón que se obtenga, por tal motivo este debe ser evaluado mediante pruebas de laboratorio previo a su aplicación.

Árido grueso

El agregado grueso está formado principalmente por partículas mayores a 4.75 mm, actuando como esqueleto en el hormigón, brindando estabilidad estructural, resistencia mecánica y mayor volumen en la mezcla, es necesario que este árido cumpla con las reglamentaciones necesarias para obtener un desempeño adecuado del resultado final.

Residuos agroindustriales

Los residuos de la agroindustria pueden ser empleados en el proceso de fabricación de materiales de construcción, beneficia notablemente al mercado de la construcción y al medio ambiente, de manera que no se necesita hacer uso excesivo de energía y ayuda a crear productos innovadores (Jannat, et al., 2020).

Las cáscaras de los residuos agroindustriales fueron trituradas mediante métodos artesanales y tamizados por una malla de abertura de 150 micras.



Figura 1: Cáscaras de residuos agroindustriales trituradas y tamizadas.

Cáscara de huevo

Este material está compuesto principalmente por carbonato de calcio, componente que mejora resistencia y durabilidad, contribuyendo a la densificación de la pasta del cemento.

Cáscara de maní

La cascara de maní es un residuo agroindustrial que posee una composición lignocelulósica que se encarga de proporcionar resistencia y rigidez en alimentos de origen vegetal. La incorporación de este material se encamina más a la busca de un hormigón más sostenible y ligero.

Cáscara de arroz

Este material puede modificar las propiedades mecánicas y de consistencia en la mezcla de hormigón, debido a su elevado contenido de sílice creando una microestructura más densa e impermeable.

Métodos

El diseño de una mezcla de hormigón necesita, en primera instancia, la evaluación de las propiedades físico-mecánicas que poseen nuestros agregados pétreos a través de pruebas de laboratorio estandarizadas.

Prasittisopin (2025) nos dice que la adecuada dosificación de una mezcla de hormigón está sujeta a las características de los materiales que lo componen, las pruebas realizadas en el laboratorio a cada uno, agregados pétreos, aglomerante (cemento) y aditivo, sea el caso, nos permitirá definir proporciones adecuadas de cada componente para garantizar una mezcla en óptimas condiciones logrando un desempeño adecuado estructural del hormigón en estado endurecido.

Estos ensayos nos ayudarán a conocer parámetros importantes, como la distribución granulométrica, módulo de finura, capacidad de absorción de los agregados, contenido de humedad presente, masas unitarias, densidad y calidad de las partículas, factores que inciden directamente en el comportamiento del hormigón en estado fresco y endurecido. Las pruebas de laboratorio realizadas se sujetan a los lineamientos normativos

establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, la determinación del contenido de humedad tanto para el árido fino como árido grueso fue realizada en base a la NTE INEN 862:2011, la masa unitaria y porcentaje de vacíos según la NTE INEN 858:2010, para la distribución granulométrica de los agregados fino y grueso según la NTE INEN 696:2011, para la densidad relativa y absorción de los agregados se aplicó lo establecido en la NTE INEN 856:2010 al árido fino y la NTE INEN 857:2010 para el árido grueso.

Tabla 1: Resultados de ensayos a los agregados fino y grueso.

Propiedades	Agregado fino	Agregado grueso
Densidad (kg/m ³)	2590	2667
P. U. S. (kg/m ³)	1442	1407
P. U. C. (kg/m ³)	1686	1538
% Absorción	8.89	4.27
% Humedad	3.07	2.13
M. Finura	2.53	-
T.M.N.	-	19 mm

En base a los resultados obtenidos se realizó una dosificación adecuada, asegurando el cumplimiento de los criterios de trabajabilidad, resistencia, durabilidad y conformidad del hormigón con las normativas técnicas vigentes.

Resultados y discusión

El método de dosificación empleado para esta investigación es el detallado en el ACI 211.1 para hormigones convencionales con fines de realizar el muestreo mediante probetas cilíndricas adicionando el 10% de los residuos agroindustriales mencionados en relación al peso del cemento; dicha prueba se efectuó de manera independiente para cada tipo de residuo, a fin de evaluar su influencia individual en el comportamiento mecánico del hormigón.

Como referencia, el hormigón con una resistencia a la compresión base de 210 kg/cm², permitió tomar un punto de comparación para valorar el efecto de la incorporación de los residuos agroindustriales en el comportamiento y desempeño del hormigón.

Tabla 1: Dosificación por m³ de hormigón.

DOSIFICACIÓN EN PESO (KG/M ³) DEL HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL CEMENTO POR RESIDUO AGROINDUSTRIAL.				
Material	0%	10% Maní	10% Huevo	10% Arroz
Cemento	372.73	335.45	335.45	335.45
Agua	269.00	269.00	269.00	269.00
Ag. Grueso	1016.30	1016.30	1016.30	1016.30
Ag. Fino	756.90	756.90	756.90	756.90
Residuo	0.00	37.27	37.27	37.27

La dosificación obtenida durante el diseño mantuvo los mismos valores obtenidos en todas las variantes, el único valor modificado fue el peso del cemento en relación al porcentaje reemplazado, condiciones de diseño como la relación a/c, revenimiento, y etc., fueron las mismas. Con la finalidad de comprobar y validar el objetivo expuesto, fue necesario realizar la dosificación del hormigón a escala de laboratorio, sujeta a la toma de especímenes cilíndricos normalizados en cada variante, sobre el cual se aplicaron los ensayos correspondientes para corroborar el tema de investigación planteado, siguiendo los procedimientos técnicos establecidos en las normativas actuales vigentes.

Tabla 3: Dosificación para laboratorio de hormigón.

DOSIFICACIÓN EN PESO (KG/M³) PARA MUESTREO EN LABORATORIO.				
Materiales	0%	10% Maní	10% Huevo	10% Arroz
Cemento	5.84	5.26	5.26	5.26
Agua	4.22	4.22	4.22	4.22
Ag. Grueso	15.93	15.93	15.93	15.93
Ag. Fino	11.87	11.87	11.87	11.87
Residuo	0.00	0.58	0.58	0.58

Las variantes de hormigón dosificadas en laboratorio se realizaron con la aplicación de técnicas manuales, después del amasado, se realizó el ensayo de revenimiento para comprobar las condiciones de asentamientos propuestas en el diseño base de 3” – 4” en la aplicación de la normativa NTE INEN 1578:2010.

Los instrumentos utilizados según el requerimiento normativo fueron: un molde cónico de forma truncada con diámetro interno en la base de 200 mm y un diámetro interno superior de 100 mm con una altura total del cono de 300 mm, varilla lisa de compactación de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud con un extremo de compactación redondeado de forma semiesférica de 16 mm de diámetro y un instrumento de medida para la lectura del desplazamiento del hormigón ensayado.

Se procedió con humedecer la zona interna del molde para después ser colocado sobre una superficie recta y firme, libre de vibraciones, vertiendo dentro de él, hormigón en tres capas con la ayuda de un cucharón, cada capa con un aproximado de 1/3 del volumen del molde cónico, a la vez, cada capa se compactó con un número de 25 inserciones de varilla sobre la sección transversal de la muestra vertida sin hacer contacto con el la base de apoyo, durante la primera capa y en las capas siguientes se penetró ligeramente la capa inferior a ella, una vez varillado el estrato superior se enraso la superficie con la varilla lisa de compactación para después levantar el cono de manera ascendente uniforme sin provocar movimientos inclinados o rotativos en un periodo de 5 s ± 2 s, registran el desplazamiento causado por el hormigón desde la zona central desplazada tomando como referencia la parte superior del molde, reportando la lectura con una aproximación de 5 mm.



Figura 2: Toma de revenimiento en hormigón base.

Tabla 4: Variantes de revenimientos obtenidos.

REVENIMIENTOS OBTENIDOS (mm)			
0 %	10% MANI	10% HUEVO	10% ARROZ
85	60	90	80

Determinado el asentamiento del hormigón en las distintas variantes propuestas se continuó con el muestreo de los especímenes cilíndricos de ensayo para evaluar la resistencia a la compresión de cada variante mencionada, los lineamientos normativos aplicados fueron los establecidos por la NTE INEN 1576:2011 para la fabricación y curado de los testigos.

Se utilizaron moldes con dimensiones de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, aplicando una técnica de compactación mediante varillado con una varilla de compactación lisa con diámetro de 10 mm \pm 2 mm con punta redondeada y un mazo de goma de 600 g \pm 200 g para golpear la zona externa del molde con el fin de eliminar las burbujas de aire presente en la mezcla. Los moldes fueron colocados en una superficie firme, nivelada, libre de vibraciones o de cualquier otra perturbación, compactando la mezcla dentro del molde con un número de 2 capas y 25 inserciones en cada una de ellas en forma espiral, evitando tocar el fondo, manteniendo una distancia de 25 mm con respecto a la base del molde y en la capa posterior penetrar 25 mm la capa anterior a ella.



Figura 1: Elaboración de probetas cilíndricas.

Culminado el muestreo, las probetas fueron desencofraron al día siguiente de haber transcurrido 24 horas para ser colocados en nuestra alberca de curado permitiendo mantener una correcta hidratación del cemento para su posterior ensayo a la compresión en las edades de 7, 14 y 28 días. Se utilizó un mecanismo de prensa hidráulica para comprimir concreto con capacidad de 2000 kN aplicando un tipo de refrentado no adherido mediante el uso de almohadillas elastoméricas de neopreno según la ASTM C 1231 aplicando velocidad de ensayo de 0.25 ± 0.05 Mpa como se dicta en la normativa NTE INEN 1573.

Resultados de porcentajes de resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 5: Porcentajes de resistencias obtenidos.

PORCENTAJES DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN OBTENIDOS.				
Edad	0%	10% Maní	10% Huevo	10% Arroz
7 DIAS	74.35	59.97	66.76	64.34
14 DIAS	83.30	66.07	76.26	73.73
28 DIAS	96.15	79.63	85.60	84.04

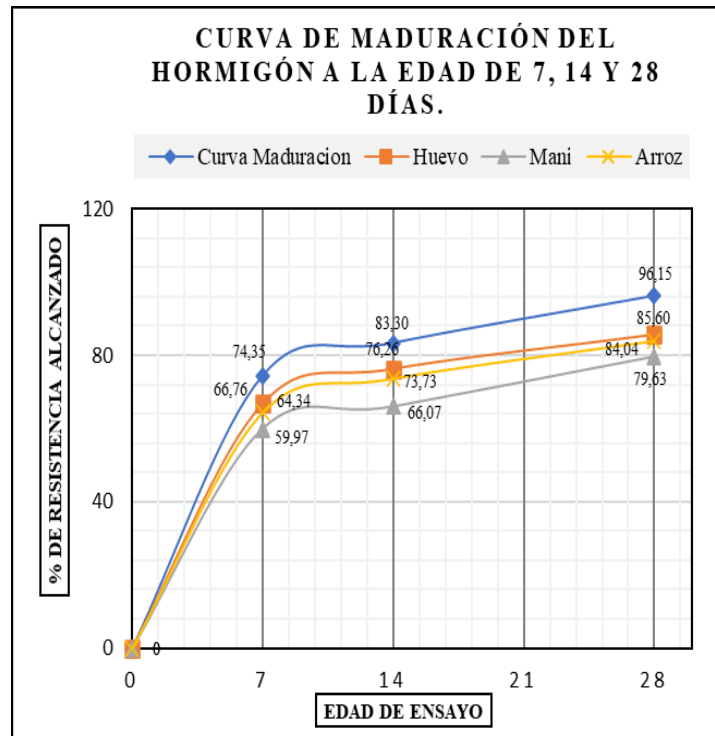


Figura 4: Resultados.

En las curvas presentes del gráfico se detallan los porcentajes de resistencia a la compresión obtenidos del promedio de tres probetas cilíndricas ensayadas a la edad de 7, 14 y 28 días de las diversas variantes de hormigón dosificado, notando la minoración de resistencia que presentaron los especímenes al sustituir el 10% del peso en cemento de la mezcla por residuos agroindustriales.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación detallan valores de resistencia a la compresión menores que la dosificación de nuestro hormigón base de 210 kg/cm² sin adición de residuos agroindustriales, evidenciando que la inclusión del 10% de estos desechos incorporados en nuestro hormigón produce una reducción de la resistencia mecánica en todas las edades de curado ensayadas, minoración asociada por la baja capacidad cementante de los residuos aplicados, provocando una afectación en la compacidad y adherencia pasta – agregados en la microestructura del hormigón.

Sin embargo, las mezclas de hormigón con adición de las variantes de los residuos evaluados, muestran un crecimiento progresivo de resistencia acorde a la edad de maduración ensayado, revelando que la hidratación del cemento no se ve interrumpida, pero si se afecta su eficiencia. Desde una perspectiva sostenible, la aplicación de estos residuos en la mezcla convencional del hormigón representa un beneficio relevante al medio ambiente, al utilizar desechos agroindustriales y mermar la demanda de materiales convencionales, cooperando con la mitigación del impacto ambiental en la elaboración del cemento. Por ende, su aplicación

sería más adecuada en elementos donde la exigencia mecánica sea menor, que no se encarguen de transmitir cargas gravitacionales y sísmicas, es decir, elementos no estructurales, donde prevalezca el criterio ambiental sin involucrar los requisitos mecánicos de diseño que estos deban cumplir durante su vida útil.

Referencias

- American Concrete Institute. (2002). Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91). ACI.
- ASTM International. (2015). Standard practice for use of unbonded caps in determination of compressive strength of hardened concrete cylinders (ASTM C1231/C1231M-15). ASTM International
- Islam, M.J., Islam, K., Shahjalal, M., Khatun, E., Islam, S., Razzaque, A.B., (2022). Influencia de diferentes tipos de fibras en las propiedades mecánicas del hormigón con áridos de desecho reciclados. Constr Build Mater, 337. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127577>
- Jannat, N., Hussien, A. y Abdullah, B., (2020). Aplicación de materiales de desecho agrícolas y no agrícolas para la construcción con cloques de tierra sin cocer: una revisión. Constr Build Mater, 254(3). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119346>.
- NTE INEN 1573. (2010). Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. Quito.
- NTE INEN 1576. (2011). Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo. Quito.
- NTE INEN 1578. (2010). Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento. Quito.
- NTE INEN 2380. (2011). Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. Quito.
- NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Quito.
- NTE INEN 856. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Quito.
- NTE INEN 857. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. Quito.
- NTE INEN 858. (2010). Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. Quito.
- NTE INEN 862. (2011). Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad. Quito.
- NTE INEN 872. (2011). Áridos para hormigón. Requisitos. Quito.
- Paul, S. C., Basit, M. A., Hasan, N. M. S., et al. (2024). Sustainable cement mortar production using rice husk and eggshell powder: a study of strength, electrical resistivity, and microstructure. Smart Construction and Sustainable Cities, 2, 13.
- Prasittisopin, L. (2025). Concrete mix design of recycled concrete aggregate (RCA). Resources, 14(2), 21