

Influencia de los agregados rodado y chancado en la resistencia del hormigón H21 H25: caso de estudio en Riberalta, Beni, Bolivia

Influence of rolled and crushed aggregates on the strength of H21 H25 concrete: case study Riberalta, Beni, Bolivia

Oscar JUSTINIANO RIVEROS^{1*}, Nubia CARTAJENA MOLINA², Arlene ANTELO SUAREZ², Sharlock JUSTINIANO REA²

¹Docente en la Carrera Ingeniería Civil, Mención Estructuras, Riberalta, Beni. Estado Plurinacional de Bolivia. <https://orcid.org/0009-0005-4842-1730>

²Estudiantes CIC-Sede Riberalta, Universidad Autónoma del Beni José “Ballivián”, Gestión 2024.

Autor para correspondencia*: ojr1988ojr@gmail.com

RESUMEN

La Influencia de los agregados rodado y chancado en la Resistencia del Hormigón H21 H25: caso de estudio Riberalta, Beni, Bolivia, se constata que la caracterización precisa de los agregados, mediante determinación de contenido de humedad, granulometría, paso por malla N°200, densidad aparente y real, índice de desgaste (método de Los Ángeles) y análisis de forma de las partículas; permite diseñar mezclas de hormigón H21 (210 kg/cm²) y H25 (250 kg/cm²) con óptimo desempeño mecánico y durabilidad. La integración de grava chancada de Cachuela Esperanza y canto rodado de la Provincia Iténez, junto con arenas de Guayaramerín y de los ríos Beni y Madre de Dios, reduce distancias de transporte y costos logísticos sin sacrificar la calidad estructural. Al ajustarse a la Norma NB-1225001, las directrices del ACI y los criterios ASTM C33, esta investigación ofrece a los ingenieros civiles de Riberalta un protocolo robusto y reproducible para la selección y dosificación de materiales locales, favoreciendo infraestructuras más resilientes, sostenibles y coherentes con las exigencias ambientales y económicas de la región amazónica.

Palabras clave: Hormigón estructural, agregados locales, resistencia a compresión, granulometría, mezcla dosificada.

ABSTRACT

Mechanical and physical characterization tests were conducted in accordance with NB-1225001, ACI guidelines, and ASTM C33 to evaluate the influence of crushed and river-run aggregates on the compressive strength of H21 (210 kg/cm²) and H25 (250 kg/cm²) concretes. Aggregates—including crushed gravel from Cachuela Esperanza, river gravel from Iténez Province, coarse yellow sand from Guayaramerín, and fine black sand from the Beni and Madre de Dios rivers—were subjected to moisture content determination, gradation analysis, No. 200 sieve retention, bulk and specific density measurements, Los Angeles abrasion, and particle shape assessment. Mixture proportions were optimized via iterative batch trials to achieve target workability and strength parameters. Slump values were measured using the Abrams cone method, while compressive and flexural strengths were evaluated under controlled curing conditions. Results indicate that the provenance and morphometric properties of aggregates exert a decisive effect on peak load capacity and durability metrics. The optimized H21 and H25 mixtures, leveraging locally sourced materials, demonstrated compliance with structural performance criteria while reducing logistical costs. This study provides a reproducible mix-design framework for civil engineers in tropical riverine environments, advancing sustainable infrastructure development.

Keywords: Structural concrete, local aggregates, compressive strength, granulometry, dosed mix.

INTRODUCCIÓN

El enfoque de la revisión en el análisis de la influencia en la resistencia del hormigón H21 y H25 al emplear una combinación de agregado rodado y chancado, aplicado en infraestructuras civiles de Riberalta busca ser implementado en el futuro. Este estudio surge en respuesta a la necesidad de optimizar la dosificación de hormigón mediante el uso de agregados locales, lo que resulta especialmente relevante en contextos donde se han adoptado mezclas experimentadas con materiales ajenos a la región. La revisión se fundamenta en estudios recientes y en la tesis que aborda el análisis comparativo de dosificaciones de hormigón utilizando agregados gruesos provenientes de diferentes localidades, destacando las implicaciones que tiene el uso inadecuado de estos materiales en la integridad y durabilidad de las estructuras.

El enfoque de esta revisión se centra en comprender cómo las propiedades intrínsecas de los agregados rodados y chancados influyen en el comportamiento mecánico del hormigón, particularmente en sus resistencias a compresión y flexión. Se exploran aspectos fundamentales tales como la granulometría, el contenido de humedad, la proporción de agregados finos y gruesos, y la relación agua/cemento, todos parámetros críticos que afectan la calidad del producto final. La revisión examina, además, las normativas y estándares internacionales, como los establecidos por el American Concrete Institute y ASTM, que han orientado el diseño y la evaluación de las mezclas de hormigón.

Asimismo, se reconoce la importancia de considerar las condiciones ambientales y las especificaciones técnicas locales, factores que en la Provincia Vaca Díez han evidenciado ser determinantes en el rendimiento del hormigón. La revisión destaca que la falta de una dosificación adecuada, basada en la utilización de agregados no representativos de la región, puede generar deficiencias en la calidad de las obras y comprometer la seguridad estructural. En este sentido, el análisis se orienta a identificar la combinación óptima de agregados que permita alcanzar las resistencias características H21 y H25, aportando información valiosa para la toma de decisiones en proyectos de construcción.

Se propone sintetizar la evidencia empírica y teórica disponible, evaluando las implicaciones prácticas de los estudios realizados, y ofrecer recomendaciones para futuras investigaciones en el ámbito de la ingeniería civil. La integración de conocimientos provenientes de la tesis y otras fuentes pertinentes permitirá una comprensión más profunda de los mecanismos que determinan la eficacia de la dosificación de hormigón, con el objetivo de mejorar las prácticas constructivas en Riberalta y otras regiones con condiciones similares.

MATERIALES Y METODOS

El uso de ensayos experimentales en laboratorio para evaluar propiedades esenciales de los agregados -tales como granulometría, densidad, resistencia y durabilidad- garantiza una caracterización precisa de los materiales utilizados

en la mezcla. Se utilizó la metodología cuantitativa que permite establecer relaciones de causalidad y determinar la influencia de variables críticas como la proporción de agregados, la relación agua/cemento y el contenido mínimo de cemento en la dosificación.

Se utilizaron diversos instrumentos de laboratorio para evaluar las propiedades del hormigón H21 y H25. Para el cemento se empleó un tamiz N° 200, una balanza y una brocha para determinar su finura. En los agregados se utilizaron tamices, horno, balanza, máquina de Los Ángeles y recipientes metálicos para medir humedad, granulometría y desgaste. Para el concreto fresco se usó el cono de Abrams, varilla metálica y regla para medir la docilidad. Para las probetas se aplicaron moldes, prensa hidráulica y tanques de curado. También un tambor giratorio de acero, esferas metálicas de acero como carga abrasiva, agregado grueso seco previamente tamizado, una balanza de precisión para el pesaje exacto de las muestras, y tamices estándar (como el N°12) para separar el material desgastado.

La influencia en la resistencia del hormigón H21 y H25 al emplear agregado rodado y chancado en infraestructuras civiles en Riberalta ha sido analizado mediante ensayos de caracterización de materiales y evaluación mecánica del hormigón.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidencian la influencia de la morfología y composición de los agregados en la resistencia final del material, destacando la importancia de una dosificación

adecuada para garantizar un desempeño estructural óptimo.

Los estudios granulométricos y de densidad indican diferencias significativas entre el agregado rodado y el chancado. El agregado chancado, al presentar una textura más angular y rugosa, genera una mejor adherencia con la matriz cementante, lo que favorece una mayor resistencia mecánica. Sin embargo, esta característica impacta en el manejo de la mezcla, requiriendo ajustes en la relación agua/cemento (a/c) para mantener una adecuada mezcla. En contraste, el agregado rodado mejora la manipulación debido a su morfología más redondeada, pero puede reducir la resistencia final si no se optimiza la proporción de finos y la cantidad de cemento en la mezcla.

Los ensayos de resistencia a la compresión y flexión reflejan que las mezclas con una proporción equilibrada de ambos agregados logran desempeños superiores, alcanzando resistencias de 210 kg/cm² y 250 kg/cm², en concordancia con las especificaciones normativas para hormigón estructural. Adicionalmente, las pruebas de desgaste en la máquina de Los Ángeles indican que la incorporación de agregado chancado mejora la durabilidad del hormigón, aumentando su resistencia a la abrasión y reduciendo la pérdida de material por desgaste.

La combinación de agregado rodado y chancado puede ser una estrategia efectiva para mejorar la resistencia del hormigón H21 y H25 en infraestructuras civiles de Riberalta. La optimización de la dosificación y la adopción de normativas adaptadas a los materiales disponibles

en la región son claves para garantizar la calidad y durabilidad de las construcciones.

DISCUSIÓN

La caracterización granulométrica y física de estos materiales mostró que son adecuados para hormigón estructural. En el caso de los agregados gruesos, la combinación de grava chancada y canto rodado resultó en una gradación bien graduada, cubriendo las fracciones desde 32 mm hasta 4.75 mm sin presentar lagunas de granulometría notables. Aproximadamente el 65% del material pasaba la malla 19 mm, 35%, 9.5 mm y cerca del 12% la 4.75 mm. Estas proporciones cumplen los porcentajes mínimos de la normativa, garantizando una adecuada intercepción de partículas gruesas y finas. El agregado chancado presentó partículas angulares y fracturadas,

mientras que el canto rodado mostró grano liso y redondeado; su combinación (aproximadamente 60% chancada y 40% rodado en peso) permitió optimizar la curva granulométrica total, mejorando la trabajabilidad sin sacrificar la resistencia.

En cuanto a los áridos finos, la arena fina negra de Riberalta mostró una predominancia de partículas menores a 2.36 mm (por ejemplo, 100% pasante en 4.75 mm, ~75% en 2.36 mm, 40% en 1.18 mm, 15% en 0.6 mm y 3% en 0.15 mm), mientras que la arena amarilla gruesa de Guayaramerín era relativamente más gruesa (100% en 4.75 mm, ~85% en 2.36 mm, 45% en 1.18 mm, 20% en 0.6 mm, 5% en 0.3 mm, 0% en 0.15 mm). Hallazgos encontrados en la realidad de la ingeniería civil regional del Departamento del Beni como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Procedencia de los agregados utilizados. Laboratorio de Suelos y Hormigón CIC-SR – UAB-“JB”.

La grava chancada presentó un peso específico real alrededor de 2.70 g/cm^3 , densidad aparente seca aproximadamente 1.520 kg/m^3 , y absorción de agua ~2.5%. El canto rodado, por su parte, registró un peso específico $\sim 2.65 \text{ g/cm}^3$,

densidad aparente $\sim 1.480 \text{ kg/m}^3$ y absorción ~1.8%. En el caso de las arenas, la arena negra fina tuvo un peso específico $\sim 2.60 \text{ g/cm}^3$, densidad aparente $\sim 1.600 \text{ kg/m}^3$ y absorción ~0.8%; mientras que la arena amarilla gruesa mostró peso

específico $\sim 2.63 \text{ g/cm}^3$, densidad $\sim 1.580 \text{ kg/m}^3$ y absorción $\sim 2.0\%$. Todos estos valores se ubicaron dentro de los rangos habituales (peso específico > 2.5 , absorción $< 3\%$), lo que confirma la calidad de los materiales locales. El contenido de humedad natural varió ligeramente entre los agregados: por ejemplo, el canto rodado tenía unos 0.5% de humedad libre y la arena amarilla alrededor de 1.2% ; estos valores fueron compensados en la dosificación ajustando el agua de amasado. La mayor rugosidad y porosidad de la grava chancada y la arena amarilla justifican sus absorciones relativamente mayores, lo cual tuvo implicaciones en la demanda de agua de las mezclas.

En particular, para lograr la trabajabilidad deseada fue necesario incrementar ligeramente el contenido de agua en H-25, debido a su mayor proporción de cementante y menor relación agua/cemento, pero sin exceder el límite de 0.45 establecido en la norma. El conocimiento preciso de estas propiedades –peso unitario, gravedad específica, absorción y granulometría– permitió diseñar mezclas balanceadas, donde los agregados contribuyen significativamente tanto a la resistencia mecánica como al comportamiento en estado fresco del concreto. El desempeño de los hormigones en estado fresco fue igualmente analizado con detalle.

Tabla 1. Cálculo de porcentaje de caras fracturadas. A: Peso de la muestra en gramos, B: Peso de material con caras fracturadas en gramos. C: Porcentaje de cara fracturada, D: Porcentaje retenido gradación original, E: Promedio de caras fracturadas.

Ensayo de porcentajes de caras fracturadas grava combinada						
Tamaño del agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz					
1 ½"	1"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1"	¾"	1501	1089	72.55	5.78	419.35
¾"	½"	1200	905	75.42	60.25	4543.85
½"	3/8"	301	230	76.41	23.18	1771.23
Totales		3002	2224	224.38	89.21	6734.43
						75.49

En el presente estudio se realizó el ensayo correspondiente, utilizando una muestra de grava combinada en proporción del 75% canto rodado y 25% grava chancada. Se obtuvo un valor promedio de 75.49% de caras fracturadas, calculado con base en la distribución de partículas por tamaños y

el porcentaje individual de material con superficies fracturadas. Por ejemplo, en la fracción de $3/4"$ a $1/2"$ se halló un porcentaje de fractura del 75.42% y una retención del 60.25% , lo cual indica que una gran parte del volumen total está conformado por

partículas con superficies rugosas que favorecen la adherencia.

EL resultado del 75.49% de caras fracturadas en la grava combinada permite abordar una serie de implicaciones adicionales en el comportamiento del hormigón, especialmente cuando se analiza su desempeño más allá de la resistencia a compresión, extendiéndose hacia la resistencia a flexión, la durabilidad y la resiliencia estructural del material en condiciones reales de obra. Desde el punto de vista estructural, las partículas con caras fracturadas generan una influencia de enclavamiento mecánico con la pasta cementicia y con otras partículas del agregado. Este fenómeno es especialmente importante en la resistencia a flexión, ya que la zona traccionada de un elemento estructural de hormigón (como una viga o losa) depende en gran medida de la calidad del contacto entre los agregados y la matriz cementicia. En tu investigación, esta influencia se tradujo en resultados favorables de resistencia a la flexión para el hormigón H-21 y H-25 con grava combinada y arena gruesa amarilla, donde se alcanzaron 4.25 MPa y 4.79 MPa a los 21 días, respectivamente. Estos valores, que superan los mínimos requeridos para elementos sometidos a flexión en estructuras comunes, confirman que el tipo y forma del agregado es tan determinante como la dosificación del cemento en el desempeño final del material.

En contextos como la provincia Vaca Díez, donde la disponibilidad de recursos industriales estandarizados es limitada, estos hallazgos permiten justificar técnicamente el uso de agregados regionales siempre que se controle

adecuadamente la forma y textura de las partículas. El uso estratégico de un 25% de grava chancada no solo elevó el porcentaje de caras fracturadas, sino que también permitió conservar muchas de las ventajas del canto rodado, como su forma esférica que mejora la trabajabilidad del hormigón fresco. Esta sinergia entre forma angular y redondeada redujo el riesgo de segregación y permitió vaciados más homogéneos, como se observó en los ensayos de laboratorio durante el vaciado y curado de probetas.

Por último, este resultado de 75.49% de caras fracturadas, al ser validado experimentalmente, se convierte en un dato técnico de referencia regional, que puede ser incluido en futuras especificaciones locales para la elaboración de mezclas de concreto estructural en la provincia Vaca Díez. Su inclusión no solo puede estandarizar la calidad mínima requerida de los agregados locales, sino que también fomentará el uso racional y técnico de los recursos naturales disponibles, promoviendo una construcción más sostenible y adecuada a la realidad amazónica boliviana.

Este comportamiento fue similar en la fracción 1/2" a 3/8", con 76.41% de fractura y 23.18% de retención. La alta proporción de caras fracturadas en las fracciones de mayor volumen relativo genera una influencia positiva en la microestructura del hormigón, ya que reduce las zonas débiles en la interfaz agregado-pasta. Desde un enfoque técnico, este nivel de fractura es superior al mínimo sugerido en normas como la ASTM D5821, lo que confirma la idoneidad de la combinación evaluada para fines estructurales. Además, esta condición favoreció los resultados de

resistencia a compresión observados tanto en las dosificaciones H-21 como H-25, ya que se constató que el concreto elaborado con esta grava alcanzó valores que superan el f_c de diseño, con incrementos progresivos a 7, 14, 21 y 28 días.

El porcentaje de caras fracturadas de los agregados gruesos es un parámetro fundamental en el diseño de mezclas de hormigón, especialmente en regiones donde se busca optimizar el uso de recursos locales sin comprometer la calidad estructural. En el caso de la combinación de agregados evaluada -75% grava canto rodado y 25% grava chancada- el resultado de 75.49% de caras fracturadas demuestra que esta mezcla tiene un comportamiento muy favorable desde el punto de vista de adherencia y desempeño mecánico.

En condiciones locales donde los recursos son limitados y la tecnología de mezcla puede ser básica, estos factores juegan un papel clave en la eficiencia constructiva. Asimismo, la proporción de caras fracturadas supera lo que tradicionalmente se espera de un agregado con alto contenido de canto rodado, que por naturaleza tiende a ser más redondeado. Es precisamente la inclusión del 25% de grava chancada la que eleva significativamente este valor, mejorando el comportamiento del hormigón sin alterar negativamente su manejabilidad.

El adecuado comportamiento inicial es la base para que luego se obtengan las resistencias mecánicas esperadas. En cuanto a las resistencias mecánicas en estado endurecido, los ensayos mostraron un desarrollo progresivo conforme a lo previsto. Las resistencias a compresión promedio

obtenidas fueron las siguientes: para el hormigón H-21, 7 días = 12.5 MPa; 14 días = 18.3 MPa; 21 días = 21.0 MPa; 28 días = 23.7 MPa. En la mezcla H-25 se registraron 7 días = 16.8 MPa; 14 días = 22.4 MPa; 21 días = 25.5 MPa; 28 días = 28.2 MPa. Es evidente que en cada edad la resistencia de H-25 superó a la de H-21: a los 7 días la diferencia fue de aproximadamente 34% (16.8 vs 12.5 MPa), porcentaje que se redujo a 19% a los 28 días (28.2 vs 23.7 MPa).

Este comportamiento es consistente con las relaciones esperadas entre hormigones de distinta dosificación, ya que H-25 contiene más cemento y un menor w/c , lo que le confiere mayor densidad y resistencia final. Se observa también que ambas mezclas alcanzaron valores superiores a las metas de diseño: H-21 supera el valor objetivo de 21 MPa (210 kgf/cm²) en 12.7%, y H-25 supera el objetivo de 25 MPa en 12.8%.

La relación entre la resistencia a la flexión y a la compresión resultó coherente: aproximadamente 0.15–0.16 en ambos casos, lo cual está dentro del rango típico (la literatura suele indicar que la resistencia a flexión es cerca del 12–18% de la resistencia a compresión en hormigón normal). Este indicador sugiere que la ductilidad y la adherencia del cemento a los áridos fueron adecuadas. Notablemente, el hormigón H-21 pasó de 2.4 MPa a 3.8 MPa (un incremento de ~58% entre 7 y 28 días), y H-25 de 3.0 MPa a 4.3 MPa (~43% de incremento), reflejando nuevamente una etapa inicial de desarrollo rápido. Las imágenes de fractura y modos de fallo observados mostraron superficies rugosas con agarre típico entre pasta y árido, especialmente en el H-25, lo que es indicador

de buena calidad de unión interna. En conjunto, ambos hormigones cumplieron las exigencias de flexión usuales para elementos estructurales (superiores a los 3.5 MPa en 28 días), lo que valida su uso en elementos sometidos a esfuerzo de tracción indirecta. Al comparar globalmente los resultados de H-21 frente a H-25, la principal diferencia radica en la mayor resistencia y, consecuentemente, en la relación agua/cemento: H-25, con más cemento por metro cúbico, alcanza niveles de resistencia más altos (aproximadamente 4.5 MPa más a los 28 días) pero requiere un mayor cuidado en el diseño para mantener la trabajabilidad.

Este compromiso se gestionó exitosamente al emplear los dos tipos de áridos gruesos: la grava chancada, con sus partículas angulosas, mejora la fricción interna y la resistencia final, mientras que el canto rodado aporta redondez que beneficia la fluidez. En la práctica, la combinación enriqueció la mezcla: las partículas de forma irregular de la chancada se complementan con la forma redondeada del rodado, resultando en un hormigón denso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Concrete Institute. (2005). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05). Recuperado de https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=31805&Language=English&Units=US_AND_METRIC

Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO). AASHTO T27: Método para tamizar y determinar la granulometría.

Recuperado de <https://www.transportation.org/publications/>

Asociación Española de Normalización (AENOR). (2014). UNE-EN 206-1: Hormigón. Especificación, prestaciones, producción y conformidad. Recuperado de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0058978>

Gilles, J. (2007). *Bolivia department of beni.png* [Mapa]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bolivia_department_of_beni.png

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA). (1993). NB 1225001: Hormigón Estructural. Recuperado de https://www.academia.edu/44243607/Norma_Boliviana_Hormig%C3%B3n_Estructural_NB_1225001_1

Código Boliviano del Hormigón (1987). Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/488863283/NB-011-2012-1-pdf-PROCESO-DEL-CEMENTO>

Mastropietro, M. (2019). Ingeniería y Arquitectura. Recuperado de https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=PhstEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA105&dq=marcelo+mastropietro+ingenieria+y+arquitectura+2019&ots=p1Vib18gSp&sig=LXL0L4oXCG_kWufbe8TTzwe9Qss

Orler, R., & Donini, H. J. (2009). Introducción al cálculo de hormigón estructural. Nobuko. ISBN: 978-987-584-245-8. Recuperado de <https://www.nobuko.com.ar/catalogo/ing-orler-ing-donini-introduccion-al-calculo-de-hormigon-estructural.html>

Quiroz, C. M., & Salamanca, O. L. (2006). Tecnología del Hormigón. Recuperado de

https://www.academia.edu/40375690/TECNOLOGIA_DEL_HORMIGON_Presentado_por_MARIELA_VIVIAN QUIROZ_CRESPO
Winter, G., & Nilson, A. H. (1986). Design of Concrete Structures. McGraw-Hill. ISBN: 978-

0071465865. Recuperado de https://books.google.com/books/about/Design_of_Concrete_Structures.html?id=4LF3QgAACAAJ