

Evaluación mecánica y comportamiento físico de agregados finos y gruesos para la optimización del diseño de hormigón estructural

Mechanical Evaluation and Physical Behavior of Fine and Coarse Aggregates for the Optimization of Structural Concrete

Luis Leonardo Zambrano Salazar

Universidad Indoamérica
luiszambrano@uti.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-5966-8123>
Ecuador - Ambato

Andres Rafael Abril Camino

Universidad Indoamérica
andresabril@util.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1342-2651>
Ecuador - Ambato

Erick Alexis Amaguaña Palate

Universidad Indoamérica
eamaguana6@indoamerica.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-7626-5243>
Ecuador - Ambato

Santiago Alessandro Cárdenas Avila

Universidad Indoamérica
scardenas16@indoamerica.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-6054-3557>
Ecuador - Ambato

Alexander Sebastian Mozo Pancho

Universidad Indoamérica
amozo2@indoamerica.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-7215-1311>
Ecuador - Ambato

Formato de citación APA

Zambrano, L. Abril, A. Amaguaña, E. Cardenas, S. & Mozo, A. (2026). Evaluación mecánica y comportamiento físico de agregados finos y gruesos para la optimización del diseño de hormigón estructural. Revista REG, Vol. 5 (Nº. 1), p. 832 – 849.

CIENCIA INTERACTIVA

Vol. 5 (Nº. 1). Enero – marzo 2026.

ISSN: 3073-1259

Fecha de recepción: 08-02-2026

Fecha de aceptación :19-02-2026

Fecha de publicación:30-03-2026



RESUMEN

La calidad del hormigón en Ecuador depende de la caracterización de los agregados finos y gruesos, dado su impacto sobre trabajabilidad, relación agua/cemento y durabilidad. El objetivo fue determinar, con base en ensayos normalizados, qué agregados locales resultan más aptos para la fabricación de hormigón estructural, identificando combinaciones preferentes por desempeño. Se evaluaron arenas y gravas de tres proveedores locales (Constructora Alvarado, Agrecom y Titán Agregados). Los ensayos se realizaron en los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Indoamérica (sede Ambato) entre octubre de 2025 y febrero de 2026, siguiendo NTE INEN/ASTM para granulometría, masa unitaria, densidades (seca al horno, SSS, aparente), absorción y abrasión Los Ángeles. En agregados finos, Agrecom presentó la absorción más baja (1,9%), con MF dentro de rango; Alvarado y Titán mostraron absorciones mayores (3,5% y 3,6%) y densidades aparentes altas en el caso de Titán. En gruesos, Alvarado registró la menor absorción (2,5%), mientras que Agrecom obtuvo el menor desgaste en Los Ángeles (20,71%, frente a 22,88% y 27,37% en Titán y Alvarado, respectivamente); las densidades aparentes fueron altas y consistentes con materiales triturados para hormigón. Para hormigón estructural convencional, la combinación fina de Agrecom y grueso de Alvarado se considera la más estable por control de la relación agua/cemento y desempeño global; para ambientes de alta abrasión, el grueso de Agrecom resulta preferente por su menor desgaste; cuando se prioriza compacidad, los materiales de Titán son viables con ajuste estricto de agua por su mayor absorción. Estos resultados aportan criterios operativos para selección de agregados y diseño de mezcla en obra.

PALABRAS CLAVE: agregados para hormigón, granulometría, densidad aparente, absorción, abrasión Los Ángeles, trabajabilidad, durabilidad.



ABSTRACT

The quality of concrete in Ecuador depends on the characterization of fine and coarse aggregates, given their impact on workability, water–cement ratio, and durability. The objective was to determine, based on standardized tests, which local aggregates are most suitable for structural concrete production, identifying preferred combinations according to performance. Sands and gravels from three local suppliers (Constructora Alvarado, Agrecom, and Titán Agregados) were evaluated. The tests were carried out at the Civil Engineering Laboratories of Universidad Indoamérica (Ambato campus) between October 2025 and February 2026, following NTE INEN/ASTM standards for gradation, bulk density, densities (oven-dry, SSD, apparent), absorption, and Los Angeles abrasion. For fine aggregates, Agrecom showed the lowest absorption (1.9%), with an FM within the acceptable range; Alvarado and Titán presented higher absorptions (3.5% and 3.6%) and high apparent densities in the case of Titán. For coarse aggregates, Alvarado recorded the lowest absorption (2.5%), while Agrecom obtained the lowest Los Angeles abrasion loss (20.71%, compared to 22.88% and 27.37% for Titán and Alvarado, respectively); apparent densities were high and consistent with crushed materials used for concrete. For conventional structural concrete, the combination of Agrecom fine aggregate and Alvarado coarse aggregate is considered the most stable due to better control of the water–cement ratio and overall performance. For high-abrasion environments, Agrecom’s coarse aggregate is preferred due to its lower wear. When compactness is prioritized, Titán’s materials are viable with strict water adjustment due to their higher absorption. These results provide operational criteria for aggregate selection and mix design on construction sites.

KEYWORDS: concrete aggregates, aggregate gradation, bulk density, water absorption, Los Angeles abrasión, Workability, Durability.



INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción en la República del Ecuador se fundamenta en el uso intensivo del hormigón de cemento hidráulico como principal material estructural para edificaciones, infraestructuras viales y diferentes obras hidráulicas. Dentro de este compuesto, los agregados pétreos, clasificados tradicionalmente en finos y gruesos, constituyen el esqueleto mineral de la mezcla, ocupando entre el 60% y el 75% del volumen total del hormigón (Alvarado, 2025). Entonces según (Moyano, 2025), el comportamiento mecánico y la durabilidad de cualquier estructura dependen intrínsecamente de las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales. Sin embargo, la práctica constructiva contemporánea en el país enfrenta desafíos debido a la variabilidad geológica de las fuentes de materiales y a la persistencia de métodos de dosificación empíricos que omiten la caracterización técnica rigurosa (Moyano, 2025). El presente análisis convierte los conceptos básicos del ensayo de materiales en una introducción que sirve como cuerpo central para la comprensión de la calidad de los áridos, integrando diferentes Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE INEN) y sus equivalentes internacionales emitidos por la American Society for Testing and Materials (ASTM) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Vulnerabilidad estructural y variabilidad de materiales

El problema científico que motiva este estudio reside en la incertidumbre técnica sobre el desempeño real del hormigón cuando se utilizan agregados cuya caracterización mecánica es incompleta o inexistente. En el contexto ecuatoriano, esta problemática se agrava por dos factores críticos: la alta peligrosidad sísmica del territorio y la informalidad en el sector de la construcción. Datos técnicos sugieren que aproximadamente el 70% de las construcciones en el país se ejecutan sin un control de calidad estricto, lo que deriva en el uso de agregados con características deficientes (Alvarado, 2025). Esta falta de control impide predecir con exactitud la respuesta de las estructuras ante eventos dinámicos, aumentando el riesgo de agrietamiento, deterioro prematuro y fallos estructurales (Moyano, 2025). La variabilidad de los áridos, provenientes de formaciones geológicas tan diversas como la Formación Piñón o San Eduardo, implica que un mismo diseño de mezcla puede presentar resistencias y módulos de elasticidad radicalmente distintos dependiendo de la cantera de origen (Moyano, 2025). Por tanto, la ausencia de datos actualizados y la falta de aplicación de las normas NTE INEN en el muestreo y ensayo de materiales constituye un vacío que compromete la seguridad ciudadana y la inversión en infraestructura nacional.

La utilidad de realizar una determinación de las propiedades de los agregados se justifica por la necesidad de alinear la práctica de la ingeniería civil con las exigencias de la Norma Ecuatoriana de



la Construcción (NEC), específicamente en su capítulo de Estructuras de Hormigón Armado (NEC-SE-HM) (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011). La selección adecuada de los materiales pétreos no es un proceso meramente administrativo, sino una decisión técnica que garantiza que las infraestructuras sean capaces de soportar las fuerzas de tensión, compresión, flexión e impacto a las que son sometidas durante su vida útil (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015). En zonas de alta actividad sísmica, como la costa ecuatoriana, el diseño de mezclas de hormigón debe asegurar no solo la resistencia a la compresión (f'_c), sino también la durabilidad frente a ambientes agresivos donde la porosidad y la absorción de los áridos son una desventaja en la protección del acero de refuerzo. Este estudio proporciona los fundamentos para mejorar las dosificaciones, reducir el uso excesivo de cemento y agua, y fomentar la sostenibilidad mediante el conocimiento de materiales locales y, potencialmente, el uso de agregados reciclados bajo criterios normativos (Alvarado, 2025).

Caracterización del cemento y su relación con la matriz pétreo

Aunque el enfoque principal recae en los agregados, la densidad del cemento es una propiedad física que interactúa directamente con el volumen de los áridos en el diseño de mezclas. El análisis de la densidad del cemento se realiza para determinar la relación agua/cemento y el volumen absoluto que este ocupa en la mezcla (Silva, 2022). Bajo la normativa técnica, este valor se define como la masa por unidad de volumen de las partículas sólidas, excluyendo los vacíos entre ellas. En los cementos normales de producción nacional, este valor se aproxima a los 3,15 g/cm³, mientras que, en cementos adicionados, el valor suele descender a 2,90 g/cm³, dependiendo de la naturaleza de las adiciones minerales (Silva, 2022).

Como lo redacta (Cárdenas, 2021), el método volumétrico de Le Chatelier es el procedimiento estándar para esta determinación, donde se mide el desplazamiento de un líquido (generalmente gasolina o kerosén) producido por una masa de cemento seco. La precisión en este ensayo es importante, ya que pequeñas variaciones en la densidad afectan los cálculos de rendimiento del hormigón y la consistencia de este mismo. La interacción química en el proceso de hidratación requiere que el cemento rellene eficazmente los espacios entre las partículas de los agregados, por lo que conocer su peso específico permite un control de calidad superior sobre la pasta cementicia que servirá de aglutinante para la composición pétreo (Cárdenas, 2021).

Análisis granulométrico: distribución de tamaños y compacidad

La granulometría por tamizado la trabajabilidad y economía del hormigón. Este proceso consiste en determinar la distribución del tamaño de las partículas de una muestra representativa mediante el uso de tamices o mallas con aberturas cuadradas que van desde los 125 mm hasta los



0,075 mm (tamiz No. 200) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). En Ecuador, este ensayo se rige por la norma NTE INEN 696, la cual es equivalente a la norma ASTM C136. La interpretación de la curva granulométrica permite clasificar los agregados en diferentes categorías de graduación. Un agregado bien graduado es aquel que presenta una distribución uniforme de tamaños, lo que resulta en una línea continua en la gráfica y garantiza que las partículas pequeñas ocupen los vacíos entre las grandes, maximizando la compacidad y reduciendo la demanda de pasta de cemento (Vélez, Byron; Ruiz, Wilter, 2022). Por el contrario, un agregado mal graduado, ya sea uniforme (partículas de un solo tamaño) o discontinuo (falta de ciertos tamaños intermedios), tiende a producir mezclas con alta porosidad y mayor riesgo de segregación (Souza & Calo, 2000).

Un indicador de este análisis es el módulo de finura del agregado fino. Este índice se obtiene sumando los porcentajes acumulados retenidos en una serie de tamices estándar (No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50 y No. 100) y dividiendo el resultado para 100 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). Según la NTE INEN 872 (equivalente a ASTM C33), el módulo de finura para una arena de calidad debe situarse entre 2,3 y 3,1. Valores fuera de este rango indican arenas muy finas que aumentan la demanda de agua o arenas muy gruesas que dificultan el acabado superficial del hormigón. Además, el tamaño máximo nominal del agregado grueso define el espaciamiento mínimo entre las barras de refuerzo, asegurando que el hormigón fluya sin obstrucciones durante el vaciado (Solórzano, Zambrano, & Guerra, 2024).

Determinación de la masa unitaria y el porcentaje de vacíos

La masa unitaria, también conocida como peso volumétrico, es la relación entre la masa de una unidad de volumen de agregado (incluyendo el volumen de las partículas individuales y los vacíos entre ellas) y dicho volumen (Escoba, Guerra, Juan, & Eguez, 2023). Este ensayo se realiza bajo los lineamientos de la NTE INEN 858 y la ASTM C29. La importancia de este parámetro radica en su uso para la dosificación de mezclas y para el cálculo de la cantidad de material necesario en el sitio de obra (Escoba, Guerra, Juan, & Eguez, 2023).

Técnicamente, se distinguen dos condiciones de ensayo: la masa unitaria suelta y la masa unitaria compactada. En la condición suelta, el material se coloca suavemente en el recipiente, representando el estado del agregado durante el almacenamiento en pilas; en la condición compactada, el material se somete a varillado o vibración, lo que permite que las partículas se acomoden y reduzcan el volumen de vacíos (Solórzano, Zambrano, & Guerra, 2024). La masa unitaria ayuda a determinar la relación masa/volumen y para estimar el porcentaje de vacíos en el árido total. Un elevado porcentaje de vacíos indica una graduación deficiente o una forma de partícula inadecuada



(como partículas elongadas o planas), lo cual es penalizado en la normativa ecuatoriana por aumentar el costo del hormigón y reducir su resistencia mecánica (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Densidad, gravedad específica y capacidad de absorción

La caracterización de la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción son valores que controlan el contenido de humedad en las mezclas de hormigón. Estas propiedades se analizan de forma diferenciada para el agregado fino, bajo la norma NTE INEN 856 (ASTM C128), y para el agregado grueso, bajo la norma NTE INEN 857 (ASTM C127).

La densidad se puede expresar en tres estados críticos:

- Densidad seca al horno (SH): Es la masa del agregado seco tras ser sometido a 110 °C hasta alcanzar una masa constante, dividida por su volumen absoluto incluyendo poros impermeables.
- Densidad saturada superficialmente seca (SSS): Es la condición en la que los poros permeables de las partículas están llenos de agua, pero la superficie exterior está seca. Este estado es el parámetro de diseño estándar, ya que el agregado en esta condición no aporta agua a la mezcla ni la absorbe de la pasta.
- Densidad aparente: Considera el volumen de la porción sólida de las partículas, excluyendo los poros permeables que pueden ser llenados por el agua (Solórzano, Zambrano, & Guerra, 2024).

La absorción se define como el incremento de masa del árido debido a la penetración de agua en sus poros permeables durante un periodo de 24 horas (Alonso, 201). En Ecuador, los agregados provenientes de rocas volcánicas suelen presentar tasas de absorción moderadas, pero aquellos de origen sedimentario o materiales reciclados pueden presentar valores elevados que alteran drásticamente la relación agua/cemento efectivo si no son compensados adecuadamente. Valores de absorción altos son indicativos de una porosidad elevada, lo que reduce la durabilidad del hormigón ante ciclos de congelamiento-deshielo o ataques químicos en zonas costeras (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).

Resistencia mecánica: abrasión y valor de degradación

La durabilidad frente al desgaste se evalúa mediante la Máquina de los Ángeles, conforme a las normas NTE INEN 860 para partículas menores a 37,5 mm (ASTM C131) y NTE INEN 861 para partículas mayores a 19 mm (ASTM C535). Este equipo consta de un tambor cilíndrico hueco de acero con un diámetro interior de 711 mm, longitud de 508 mm y paredes de al menos 12,4 mm de espesor (Comina, 2024). El ensayo simula el impacto y la molienda mediante la rotación del tambor a una velocidad de 30 a 33 rpm, utilizando una carga abrasiva de esferas de acero de aproximadamente 47



mm de diámetro y una masa entre 390 y 445 g cada una (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

El número de esferas (entre 6 y 12) depende de la granulometría de la muestra previamente lavada y secada al horno a 110 °C. Tras el ciclo de revoluciones, el material se tamiza por el tamiz de 1,70 mm (No. 12) para determinar la pérdida de masa (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). En el Ecuador, la normativa NTE INEN 872 establece que para hormigón estructural general el desgaste máximo es del 50%. Sin embargo, para infraestructuras sometidas a abrasión severa, como pavimentos o tableros de puentes, los límites son más restrictivos (35% a 40%) para evitar la degradación prematura y asegurar la adherencia en la zona de transición interfacial (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

MÉTODOS MATERIALES

El estudio se llevó a cabo en los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Indoamérica, sede Ambato, durante el periodo octubre de 2025 a febrero de 2026. Se trabajó con agregados finos (arena) y agregados gruesos (grava) procedentes de tres proveedores locales: Constructora Alvarado, Agrecom y Titán Agregados. Los ensayos se realizaron siguiendo procedimientos normalizados y controlando condiciones de laboratorio para garantizar la repetibilidad de las mediciones.

A continuación, se mostrará la siguiente tabla en las cuales contiene los equipos utilizados en estos ensayos.

Se seleccionaron lotes representativos de agregado fino y grueso por proveedor. Cada lote se secó al horno previo a los ensayos que lo requirieron y se conservó en contenedores limpios para evitar contaminación cruzada. Las muestras se cuartearon hasta obtener porciones de ensayo según la masa mínima exigida por las normas aplicables a cada método. Se registró para cada ensayo la masa del molde/recipiente, la temperatura ambiente del laboratorio y la humedad del material cuando correspondió.

Ensayos realizados

- Granulometría por tamizado (fino y grueso) para determinar módulo de finura y tamaños característicos. Los resultados sirvieron para verificar el cumplimiento de rangos de aceptación en arenas y gravas destinados a hormigón estructural.
- Masa unitaria (peso volumétrico) suelta y compactada del agregado fino y grueso, con cálculo del porcentaje de vacíos a partir de las masas y volúmenes de los recipientes normalizados. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción:
- Agregado fino (condiciones: seca al horno, SSS y aparente) y porcentaje de absorción.



- Agregado grueso (condiciones: seca al horno, SSS y aparente) y porcentaje de absorción.
- Abrasión (Máquina de Los Ángeles) en agregado grueso de partículas menores a 37,5 mm para estimar el porcentaje de degradación bajo impacto y desgaste.

Normas técnicas aplicadas

- NTE INEN 696, "Granulometría de agregados (equivalente a ASTM C136)"
- NTE INEN 858 / ASTM C29, "Masa unitaria (peso volumétrico) del agregado"
- NTE INEN 856 / ASTM C128, "Densidad, gravedad específica y absorción del agregado fino"
- NTE INEN 857 / ASTM C127, "Densidad, gravedad específica y absorción del agregado grueso"
- NTE INEN 860 / ASTM C131, "Abrasión del agregado grueso mediante Máquina de Los Ángeles"
- NTE INEN 861 / ASTM C535, "Abrasión para agregados de mayor tamaño"
- NTE INEN 872 / ASTM C33, "Requisitos para agregados destinados a hormigón estructural"
- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC SE-HM, "Estructuras de hormigón armado (criterios de selección de agregados según desempeño estructural)"

Equipos, instrumentos y control metrológico

Se utilizaron horno de secado, tamizadora eléctrica, Máquina de Los Ángeles, balanza digital, picnómetro y juego de tamices. Como instrumentos y herramientas de apoyo se emplearon recipiente cilíndrico metálico, probeta, varilla de compactación, enrasador, termómetro, cono metálico, palustre, pala, bandejas metálicas, brocha, embudo y franela. Las balanzas se verificaron con pesas patrón del laboratorio antes de iniciar cada jornada de medición, y los tamices se inspeccionaron visualmente para descartar deformaciones o incrustaciones que afectaran el paso de partículas

Procedimiento general y condiciones de ensayo

Todos los ensayos se ejecutaron en pasos estandarizados: preparación y secado del material cuando procedía, establecimiento de la condición SSS para densidades y absorción, medición de masas y volúmenes con los equipos indicados y cálculo de parámetros conforme a las fórmulas de cada método. La temperatura ambiente del laboratorio se mantuvo dentro del rango operativo recomendado por los procedimientos internos, y las lecturas se registraron en planillas de control del laboratorio, incluyendo repeticiones para estimar error relativo y detectar valores atípicos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentaron los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los agregados finos y gruesos suministrados por las empresas Constructora Alvarado, Agrecom y Titán Agregados. Los ensayos incluyeron granulometría, densidad aparente suelta y compactada, densidad relativa, absorción y desgaste por abrasión mediante la Máquina de Los Ángeles. A continuación, se



exponen los valores obtenidos y su correspondencia con los parámetros establecidos en las normas técnicas aplicables.

- **Ensayo N°1:** Granulometría para Agregado Fino.

Los valores del Módulo de Finura (MF), error relativo, tamaño nominal máximo y condición de la muestra se presentan en la Tabla 1. Se observó que las tres muestras presentaron módulos de finura dentro de los rangos permitidos por la NTE INEN 872 y la ASTM C33 para arenas naturales. Todas las muestras cumplieron con el requisito de porcentaje retenido en tamiz fino ($< 0,3$).

Tabla 1

Resultados “Granulometría para Agregado Fino”

Agregado Fino	Constructora Alvarado	Agrecom	Titan Agregados
Módulo de Finura (MF)	2,76	2,39	2,7
Error Relativo (%)	0,01	0,04	0,04
Tamaño Nominal Máximo (TNM)	N°4	N°8	N°8
Tamaño Máximo (TM)	3/8 in	3/8 in	3/8 in
Estado de la Muestra ($<0,3$)	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil (2026).

- **Ensayo N°1:** Granulometría para Agregado Grueso.

Los resultados obtenidos del Módulo de Finura, tamaño nominal máximo y cumplimiento de los límites normativos se resumen en la Tabla 2. Las tres fuentes suministraron agregados con tamaños nominales dentro de lo estipulado en la NTE INEN 872. Asimismo, los valores reportados de MF se mantuvieron dentro del rango esperado para agregados gruesos.

Tabla 2.

“Resultados Granulometría para Agregado Grueso”

Agregado Grueso	Constructora Alvarado	Agrecom	Titan Agregados
Módulo de Finura (MF)	6,87	6,71	6,72
Error Relativo (%)	0,09	0,003	0,14
Tamaño Nominal Máximo (TNM)	3/4 in	3/4 in	3/4 in
Tamaño Máximo (TM)	3/4 in	1 in	3/4 in
Estado de la Muestra (<0,3)	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil (2026).

- **Ensayo N°2:** Densidad Aparente Compactada y Suelta para Agregado Fino.

Los resultados correspondientes al agregado fino se presentan en la Tabla 4. Las densidades obtenidas para las tres fuentes se ubicaron en los rangos esperados para arenas empleadas en hormigón.

Tabla 3.

“Resultados Densidad Aparente Compactada y Suelta para Agregado Fino”

Agregado Fino	Constructora Alvarado	Agrecom	Titan Agregados
Densidad Aparente Suelta (M _s)	1414,27 kg/m ³	1312,42 kg/m ³	1663,93 kg/m ³
Densidad Aparente Compactada M _c	1528,26 kg/m ³	1480,41 kg/m ³	1750,14 kg/m ³
Masa del molde vacío	0,978 kg	0,969 kg	0,954 kg



Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil (2026).

- **Ensayo N°2:** Densidad Aparente Compactada y Suelta para Agregado Grueso.

En la Tabla 4 se muestran los valores de densidad aparente suelta (M_s), densidad compactada (M_c) y masa del molde. Las densidades registradas se mantuvieron dentro de los rangos típicos de agregados triturados para hormigón estructural. Todas las muestras pudieron ser ensayadas sin desprendimientos.

Tabla 4.

“Resultados Densidad Aparente Compactada y Suelta para Agregado Grueso”

Agregado Grueso	Constructora Alvarado	Agrecom	Titán Agregados
Densidad Aparente Suelta (M_s)	325,6 kg/m ³	338,5 kg/m ³	470,3 kg/m ³
Densidad Aparente Compactada (M_c)	426,6 kg/m ³	457,8 kg/m ³	583,2 kg/m ³
Masa del molde vacío	982 kg	953 kg	984 kg

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil (2026).

- **Ensayo N°3:** Determinación de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción para Agregado Fino.

En la Tabla 5 se resumen los valores obtenidos en las condiciones de densidad seca al horno, saturada superficialmente seca (SSS), aparente, densidades relativas y porcentaje de absorción.

Los valores de densidad relativa se mantuvieron dentro de los intervalos establecidos en la NTE INEN 856 (ASTM C128). El porcentaje de absorción de las arenas presentó variaciones asociadas a la porosidad del material, sin exceder los límites establecidos por la norma nacional.

Tabla 3.

“Resultados Determinación de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción para Agregado Fino”

Agregado Fino	Unidad	Constructora Alvarado	Agrecom	Titán Agregados
---------------	--------	-----------------------	---------	-----------------



Densidad Seca al Horno (DSH)	kg/m ³	2302,84	2423,44	2418,42
Densidad SSS (DSSS)	kg/m ³	2383,89	2469,87	2505,61
Densidad Aparente (DA)	kg/m ³	2506,42	2541,71	2650,01
Densidad Relativa (SH)	-	2,31	2,43	2,42
Densidad Relativa (SSS)	-	2,39	2,48	2,51
Densidad Relativa Aparente	-	2,51	2,55	2,66
Porcentaje de Absorción	%	3,5	1,9	3,6

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil (2026).

- **Ensayo N°3:** Determinación de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción para Agregado Grueso.

La Tabla 6 muestra los valores de densidad relativa (SH, SSS y aparente) y el porcentaje de absorción para el agregado grueso. Todos los agregados presentaron densidades dentro del rango típico para rocas trituradas utilizadas en hormigón. El porcentaje de absorción no superó los límites permisibles establecidos en la NTE INEN 857 (ASTM C127).

Tabla 4.

Resultados “Determinación de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción para Agregado Grueso”

Agregado Grueso	Unidad	Constructora Alvarado	Agrecom	Titán Agregados
Densidad Seca al Horno (DSH)	kg/m ³	2500,84	2509,59	2475,71



Densidad SSS (DSSS)	kg/m ³	2564,35	2585,84	2553,33
Densidad Aparente (DA)	kg/m ³	2670,61	2716,97	2684,28
Densidad Relativa (SH)	-	2,5	2,51	2,48
Densidad Relativa (SSS)	-	2,57	2,59	2,56
Densidad Relativa Aparente	-	2,67	2,72	2,69
Porcentaje de Absorción	%	2,5	3	3,1

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil (2026).

- **Ensayo N°4:** Determinación del valor de degradación del parido grueso de partículas menores a 37,5 mm Mediante el uso de la máquina de los Ángeles.

El porcentaje de degradación obtenido por cada muestra se presenta en la Tabla 7. Los valores reportados se encontraron por debajo del límite del 50% establecido por la NTE INEN 872 para agregados destinados a hormigón estructural, lo que indicó que ninguna muestra superó el desgaste máximo permitido.

Tabla 5

Resultados “Determinación del valor de degradación del parido grueso”

Agregado Grueso	Unidad	Constructora Alvarado	Agrecom	Titán Agregados
Masa inicial (A)	g	5009,4	5003,7	5000
Masa retenida Tamiz N°12 (B)	g	3638,1	3967,3	3856
Número de Esferas	-	11	11	11
Número de Revoluciones	-	500	500	500



Porcentaje de Degradación (D%)	%	27,37	20,71	22,88
--------------------------------	---	-------	-------	-------

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil (2026).

A partir de los valores consignados en las Tablas 1–7, se compararon, para cada mina, los indicadores clave de desempeño: granulometría (MF), densidad aparente (suelta y compactada), densidad relativa, absorción y abrasión Los Ángeles. Todos los agregados cumplieron los requisitos normativos mínimos señalados en la sección (cumple/no cumple).

DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que la absorción es el parámetro de mayor impacto operativo en la fabricación de hormigón, porque condiciona la relación agua/cemento efectivo y, por extensión, la consistencia y la resistencia. La arena de Agrecom se mantiene como la opción preferente por su baja absorción y gradación adecuada, lo que favorece mezclas más cohesivas y controlables durante la puesta en obra. En contraste, las arenas con absorciones más altas requieren correcciones de agua más estrictas para evitar aumentos indeseados de a/c y pérdidas de desempeño (Solórzano, Zambrano, & Guerra, 2024).

En agregado grueso, Alvarado destaca por su baja absorción, lo cual estabiliza la humedad incorporada al sistema y contribuye a una zona de transición interfacial menos vulnerable. Este comportamiento se alinea con la práctica de dosificación que prioriza variación mínima de agua para asegurar resistencia y durabilidad (Vélez, Byron; Ruiz, Wilter, 2022). A su vez, el desgaste Los Ángeles diferencia aplicaciones: Agrecom presenta menor degradación y, por tanto, se prioriza en pavimentos y superficies sometidas a fricción; cuando la abrasión no es mala, el equilibrio entre absorción y densidad de Alvarado resulta más ventajoso para el uso estructural general.

Los materiales de Titán exhiben densidades aparentes elevadas que pueden mejorar la compacidad y reducir vacíos, pero su mayor absorción obliga a un control fino del agua para evitar penalizaciones en resistencia y durabilidad. En términos de selección, esto sugiere un criterio por escenarios:

- Hormigón convencional; agregado fino Agrecom y agregado grueso Alvarado (control de a/c y estabilidad).
- Hormigón de alta abrasión; grueso Agrecom.
- Hormigón de alta compacidad; materiales Titán con ajuste de agua.

Estas decisiones optimizan la mezcla sin exceder la complejidad operativa en planta u obra.



Como limitación, los resultados reflejan muestras puntuales de un periodo específico (octubre 2025 a febrero 2026) en un único laboratorio, por lo que cambios estacionales, de frente de explotación o de proceso podrían modificar algunas propiedades medidas. Aun así, la aplicación estricta de normas NTE INEN/ASTM y el control empleado validan la comparabilidad y utilidad de los resultados para la toma de decisiones.

CONCLUSIONES

Los resultados de la caracterización física y mecánica de los agregados permiten establecer la selección adecuada de estos materiales tomando en cuenta la calidad y desempeño del hormigón estructural. El estudio muestra que las propiedades de absorción, densidad y resistencia al desgaste influyen directamente en la trabajabilidad, estabilidad volumétrica y durabilidad del material, lo que reafirma la necesidad de evaluar los agregados previo a su utilización en obra. Todo esto con las normativas NTE INEN, ASTM y NEC, que realizan un control al momento de ensayar los áridos.

El análisis comparativo entre proveedores muestra que el agregado fino de Agrecom presenta condiciones óptimas para el diseño de mezclas estructurales, debido a su menor absorción y su adecuada gradación, lo que contribuye a un control más estable de la relación agua/cemento. De manera complementaria, el agregado grueso de Constructora Alvarado demuestra ser el más apto para hormigón estructural general, dado que exhibe la absorción más baja del conjunto, favoreciendo la uniformidad del contenido de humedad y la adherencia con la matriz cementante. Como aporte adicional, el estudio identifica que el agregado grueso de Agrecom, por su menor degradación en el ensayo Los Ángeles, se perfila como la mejor alternativa para obras sometidas a desgaste o abrasión, como pavimentos y superficies de tránsito continuo.

Entre los aspectos relevantes del estudio se destaca la comparación integrada y simultánea de características granulométricas, densidades, absorción y abrasión entre distintos proveedores locales, lo que no solo aporta información relevante, sino que también proporciona criterios prácticos para constructoras y laboratorios al momento de seleccionar materiales. Estos resultados coinciden parcialmente con investigaciones previas en cuanto al rol de la absorción y el desgaste en la durabilidad del hormigón, aunque las diferencias entre proveedores resaltan la necesidad de estudios regionales actualizados que consideren variaciones geológicas y operativas.

Se reconoce como limitación que los ensayos se desarrollan en un periodo específico y con muestras representativas de cada proveedor, por lo que cambios en la explotación de canteras o variaciones estacionales pueden modificar las propiedades obtenidas. No obstante, el empleo de normas estandarizadas y controles garantiza la validez de los resultados y su aplicabilidad en contextos



reales de obra. Este estudio abre la posibilidad de desarrollar investigaciones adicionales orientadas a evaluar la resistencia y durabilidad del hormigón fabricado con las combinaciones óptimas aquí identificadas, así como comparar agregados naturales con agregados reciclados o híbridos para fomentar propuestas de sostenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, J. (201). Estudio de la influencia de la naturaleza de los áridos en las propiedades de hormigones fabricados con cementos de bajo calor de hidratación. Burgos: Universidad de Burgos.
- Alvarado, L. (2025). DISEÑO DE HORMIGON POR EL METODO DEL ACI-211 CON RESISTENCIA $f'c$ 240 KG/CM², CONSISTENCIA FLUÍDA, TIPO DE CEMENTO CHIMBORAZO Y AGREGADOS DE CANTERA CANTESAN, SITIO LA CHICHA, PARROQUIA SAN ISIDRO, CANTON SUCRE. Bahía de Caráquez: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Cárdenas, Y. (2021). EXAMEN ASÍNCRONO - MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN . Cuenca: Universidad de Azuay.
- Comina, W. (2024). Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad para hormigones de resistencia $f'c=240$ kg/cm², elaborado con material granular de la mina "Revilla S.A" ubicada en el cantón Otavalo, material reciclado (adoquines) y cemento Selvalegre tipo IP. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador .
- Escoba, J., Guerra, Juan, & Eguez, H. (2023). Tamaño máximo del agregado y su influencia en la porosidad de un hormigón elaborado con fibra de vidrio. INGENIAR, 2-17.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 856. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 857. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 696. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 861. Áridos. Determinación del valor de la abrasión del árido grueso de partículas pequeñas, mediante la utilización de la máquina de Los Ángeles. Quito: INEN.



- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 872. Áridos para hormigón. Quito: INEN.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2011). Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11).
Capítulo 4: Estructuras de Hormigón Armado. Quito: MIDUVI.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).
Estructuras de Hormigón Armado (NEC-SE-HM). Quito: MIDUVI.
- Moyano, N. (2025). EVALUACIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO CON PIEDRA DE DOS CANTERAS
UBICADAS EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana .
- Silva, O. (Abril de 2022). CONOCIENDO LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO: ¿QUÉ Y CÓMO?
Obtenido de 360 EN CONCRETO: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/propiedades-fisicas-del-cemento/>
- Solórzano, A., Zambrano, A., & Guerra, J. (2024). Características de dos agregados finos que influyen
en la resistividad del hormigón. Polo del Conocimiento, 1814-1829.
- Souza, E., & Calo, D. (2000). Influencia de las características del agregado en el comportamiento del
pavimento de hormigón. Buenos Aires: ICPA.
- Vélez, Byron; Ruiz, Wilter. (2022). Estudio de los agregados pétreos de las canteras de Manabí y la
dosificación del hormigón en la construcción de viviendas de interés social. Polo del
Conocimiento, Manta.
- Pinto, C., Jordán, N. & Naranjo, M. (2025). Mecánica de materiales con enfoque a la Ingeniería Civil.
Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica
- Pinto-Almeida, C., Abril-Camino, A., & Abril-Camino, D. (2025). Mechanical performance of volcanic
ash concrete showing modulus reduction with strength retention. Civil Engineering Journal,
11(10), 4422–4435. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-10-024>

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

