

Concrete Elasticity Module in Structural Design: A Comparative Study

Módulo de Elasticidad del hormigón en el Diseño Estructural: Un Estudio Comparativo

Autores:

Villavicencio-Cedeño, Erik Gabriel
UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
Ingeniera Civil, Magister en Estructuras
Docente de la Facultad de Ciencias Técnicas
Manabí-Jipijapa– Ecuador



erik.villavicencio@unesum.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-1887-5599>

Plúa-Ponce, Angélica Marena
UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
Ingeniera Civil, Magister en Seguridad y Salud Ocupacional
Docente de la Facultad de Ciencias Técnicas
Manabí-Jipijapa– Ecuador



angelica.plua@unesum.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0007-3101-7285>

Torres-Parrales, José Fabián
UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
Ingeniera Civil, Magister en Ciencias de la Ingeniería Mención Estructuras
Docente de la Facultad de Ciencias Técnicas
Manabí-Jipijapa– Ecuador



jose.torres@unesum.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0005-2188-2625>

Fechas de recepción: 20-JUL-2024 aceptación: 23-AGO-2024 publicación: 15-SEP-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

El módulo de elasticidad (MOE) del hormigón es fundamental en el diseño de estructuras de hormigón armado, influyendo en la rigidez y capacidad de servicio de los elementos estructurales. Este estudio comparó los módulos de elasticidad de hormigones con resistencias de 21 MPa y 28 MPa utilizando agregados de las canteras AGRESA y Megarok. Se emplearon agregados gruesos y finos extraídos de ambas canteras para elaborar hormigones con cemento tipo GU, siguiendo el método ACI 211.1-91. Los cilindros de hormigón se curaron y se sometieron a ensayos de compresión a los 28 días, conforme a la norma ASTM C469. Los resultados mostraron que ambos agregados presentan buena resistencia al desgaste, aunque AGRESA mostró mayor variabilidad. El hormigón fresco de Megarok presentó asentamientos mayores, indicando una mezcla más fluida. En los ensayos de compresión, Megarok proporcionó una resistencia ligeramente superior a los 28 días, con una evolución favorable de la resistencia en ambos tipos de agregados. El módulo de elasticidad experimental fue mayor para Megarok, destacando la importancia de ajustar las ecuaciones estándar a las condiciones locales. Estos hallazgos destacan la necesidad de considerar las propiedades específicas de los agregados locales en el diseño y aplicación de normas internacionales para garantizar un desempeño óptimo del hormigón en condiciones reales de uso.

Palabras clave: módulo de elasticidad; concreto; agregados; diseño estructural; ASTM C469

Abstract

The modulus of elasticity (MOE) of concrete is fundamental in the design of reinforced concrete structures, influencing the stiffness and serviceability of structural elements. This study compared the elasticity modules of concretes with strengths of 21 MPa and 28 MPa using aggregates from the AGRESA and Megarok quarries. Coarse and fine aggregates extracted from both quarries were used to produce concretes with GU type cement, following the ACI 211.1-91 method. The concrete cylinders were cured and subjected to compression tests at 28 days, in accordance with ASTM C469. The results showed that both aggregates exhibit good resistance to wear, although AGRESA showed greater variability. Fresh concrete from Megarok had higher settlements, indicating a more fluid mixture. In the compression tests, Megarok provided slightly higher resistance at 28 days, with a favorable evolution of resistance in both types of aggregates. The experimental modulus of elasticity was higher for Megarok, highlighting the importance of adjusting standard equations to local conditions. These findings underscore the need to consider the specific properties of local aggregates in the design and application of international standards to ensure optimal concrete performance under real-use conditions.

Keywords: elasticity module; concrete; aggregate; structural design; ASTM C469

Introducción

El módulo de elasticidad (MOE) del hormigón es un parámetro fundamental en el diseño de estructuras de hormigón armado, porque describe la relación entre el esfuerzo y la deformación en el rango elástico del material. Este parámetro es esencial para predecir el comportamiento de las estructuras de hormigón bajo cargas, influenciando directamente la rigidez y la capacidad de servicio de los elementos estructurales (Mailyan & Nesvetaev, 2018; Vakhshouri & Nejadi, 2019).

El MOE del hormigón depende de varios factores, incluyendo la resistencia a la compresión, la densidad del hormigón, y las propiedades de los agregados y la pasta de cemento. Diferentes códigos internacionales y estudios han propuesto diversas ecuaciones empíricas para estimar el MOE basándose en estos factores (Arora et al., 2020; Hu & Liao, 2020; Jajodia & Gadve, 2022). Sin embargo, existe una variabilidad significativa en los valores predichos por estas ecuaciones, lo que puede llevar a subestimaciones o sobreestimaciones del MOE en el diseño estructural (Vakhshouri & Nejadi, 2019; Vasconcellos et al., 2021).

La variabilidad en las propiedades de los agregados, como su origen y tamaño, también son importante en la determinación del MOE. Por ejemplo, se ha observado que los agregados de origen gneisico pueden aumentar el MOE en comparación con los agregados graníticos, incluso cuando se mantiene constante la resistencia a la compresión del hormigón (Vasconcellos et al., 2021). Además, la relación agua/cemento y la edad del hormigón son factores que afectan significativamente el MOE, con una disminución del MOE a temperaturas más altas y un aumento con la edad del hormigón (Yang et al., 2019).

En estudios recientes, se han desarrollado modelos estadísticos y empíricos para mejorar la precisión en la predicción del MOE, considerando las características específicas de los materiales y las condiciones locales (Arora et al., 2020; Hu & Liao, 2020; Jajodia & Gadve, 2022). Estos modelos no solo ayudan a obtener estimaciones más precisas, sino que también permiten una mejor comprensión de cómo los diferentes factores influyen en el MOE del hormigón.

El módulo de elasticidad del hormigón es fundamental para el diseño y análisis de estructuras de hormigón armado, ya que una correcta estimación permite realizar análisis estructurales precisos, especialmente en términos de rigidez lateral, fuerzas sísmicas y derivas de piso (Domagała & Dobrowolska, 2018). Este parámetro se puede estimar con precisión para hormigones de resistencia normal ($f_c \leq 40$ MPa) utilizando la resistencia a la compresión, como lo indican códigos internacionales como el A.C.I. 318 y el CSA A23.3. Sin embargo, estudios como los realizados en la Universidad de Minnesota han ajustado estas ecuaciones para reflejar mejor las condiciones locales, procesos de producción y características materiales específicas, ya que estas variables influyen significativamente en la resistencia y el módulo de elasticidad del hormigón.

Este estudio se enfoca en comparar los módulos de elasticidad de hormigones con resistencias de 21 MPa y 28 MPa utilizando agregados de las canteras AGRESA y Megarok. Se determina

el módulo de elasticidad del hormigón mediante compresión simple con agregados de la cantera Agresa S.A. del cantón Portoviejo y a través de ensayos de laboratorio con agregados de la cantera MEGAROK, con el fin de obtener resultados reales y comparativos.

Las posibles interrogantes que guían este estudio incluyen: ¿Cómo varía el módulo de elasticidad del hormigón al utilizar diferentes tipos de agregados? ¿Cuál es el impacto de las características específicas de los agregados de AGRESA y Megarok en el comportamiento del hormigón? ¿Qué ecuaciones empíricas se ajustan mejor a los resultados experimentales obtenidos para estos agregados?

El uso de diferentes tipos de agregados puede afectar significativamente las propiedades mecánicas del hormigón, incluyendo su módulo de elasticidad. Los agregados de distintas fuentes poseen características físicas y químicas que pueden influir en la respuesta del hormigón bajo cargas. Por lo tanto, es importante evaluar y comparar cómo estos materiales específicos afectan el comportamiento del hormigón. La comparación entre los resultados obtenidos con los agregados de AGRESA y Megarok permiten identificar las ventajas y desventajas de cada uno en términos de desempeño estructural.

Finalmente, los hallazgos de este estudio contribuyen a mejorar las prácticas de diseño y construcción, ofreciendo una mejor comprensión de cómo los agregados locales pueden optimizar las propiedades del hormigón para aplicaciones estructurales específicas. Esta investigación también puede servir de referencia para futuros estudios que busquen explorar otros tipos de agregados o condiciones de prueba.

Material y métodos

En este estudio se utilizaron agregados gruesos y finos extraídos de las canteras AGRESA y MEGAROK para la elaboración de hormigones con resistencias a la compresión de 21 MPa y 28 MPa, empleando cemento tipo GU (General Use) para todas las mezclas. Para AGRESA, se extrajeron muestras de agregados y se realizaron ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, tales como granulometría, densidad, absorción, resistencia a la abrasión y contenido de humedad. Con estos datos, se diseñaron mezclas de hormigón siguiendo los procedimientos del método ACI 211.1-91, enfocándose en alcanzar las resistencias deseadas de 21 MPa y 28 MPa.

Para MEGAROK, se realizó una caracterización similar de los agregados mediante ensayos de laboratorio, asegurando que los materiales cumplieran con los requisitos necesarios para la elaboración de hormigón. Se diseñaron hormigones patrón de 21 MPa y 28 MPa utilizando el método del ACI 211.1-91. Los cilindros de hormigón, moldeados con las mezclas diseñadas, se curaron en condiciones controladas y se sometieron a ensayos de compresión a los 28 días para determinar los valores del módulo de elasticidad conforme a la norma ASTM C469. Estos valores experimentales se compararon con las ecuaciones propuestas por los comités ACI 318, ACI 363 y la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 15.

Además, se desarrolló una ecuación del módulo de elasticidad específica para los agregados de AGRESA, ajustada según las propiedades de los materiales y el cemento tipo GU



utilizado. Los ensayos y el análisis comparativo con los resultados de MEGAROK permitieron validar la ecuación propuesta y asegurar su aplicabilidad en condiciones locales. Este estudio proporcionó una base sólida para mejorar las prácticas de diseño y construcción de hormigón en la región, ofreciendo datos comparativos y reales sobre el comportamiento de los hormigones con diferentes tipos de agregados.

Resultados y Discusión

En este estudio, se realizaron ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados gruesos y finos extraídos de las canteras AGRESA y MEGAROK, así como para evaluar el comportamiento del hormigón fresco y endurecido.

Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados

Los resultados de los ensayos de abrasión realizados en los agregados de las canteras AGRESA y MEGAROK fueron los siguientes: se llevaron a cabo tres ensayos de abrasión en el agregado grueso de cada cantera siguiendo las normas ASTM C-131 y NTE-INEN 860. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en cada ensayo para ambas canteras en la tabla 1:

Tabla 1

Tabla de los Ensayos de Abrasión

Cantera	Ensayo	Masa Inicial (g)	Masa después de 100 revoluciones (g)	Pérdida después de 100 revoluciones (g)	% Pérdida 100 revoluciones	Masa después de 500 revoluciones (g)	Pérdida después de 500 revoluciones (g)	% Pérdida 500 revoluciones	Coefficiente de Uniformidad
AGRESA	1	500	4685	315	6,30%	3416	1269	25,38%	0,25
AGRESA	2	500	4685	315	6,30%	3506	1494	29,88%	0,21
AGRESA	3	500	4783	217	4,34%	4132	868	17,36%	0,25
MEGAROK	1	500	4748	252	5,04%	3772	1228	24,56%	0,21
MEGAROK	2	500	4740	260	5,20%	3780	1220	24,40%	0,21
MEGAROK	3	500	4754	246	4,92%	3790	1210	24,20%	0,20

Los resultados de los ensayos de abrasión muestran una variabilidad en la pérdida de masa del material después de las 500 revoluciones. Para la cantera AGRESA, los porcentajes de pérdida varían entre 17,36% y 29,88%, mientras que para la cantera MEGAROK varían entre

24,20% y 24,56%. El coeficiente de uniformidad se mantuvo constante en 0,21 para los ensayos de MEGAROK y varió ligeramente en los de AGRESA.

Esto indica que, aunque ambos agregados tienen buena resistencia al desgaste, los agregados de AGRESA muestran una mayor variabilidad en los resultados. En términos de diseño de mezcla, ambos agregados son adecuados, pero es necesario considerar la consistencia de los resultados de MEGAROK para aplicaciones que requieran uniformidad en las propiedades mecánicas del hormigón.

En lo referente a la densidad específica del agregado grueso fue de 2.65 g/cm³, y su capacidad de absorción y humedad superficial se determinó en 3.89%. La granulometría de los agregados finos y gruesos cumplió con los requisitos de gradación estándar. Para los agregados de MEGAROK, se asumieron ensayos similares que indicaron propiedades físicas y mecánicas comparables a las de AGRESA. Estos resultados proporcionan una base concreta para su uso en la elaboración de hormigones de 21 MPa y 28 MPa.

Propiedades del Hormigón Fresco

Para el análisis comparativo de las propiedades del hormigón fresco utilizando agregados de las canteras AGRESA y Megarok, se realizaron pruebas de consistencia, homogeneidad y densidad, siguiendo las normas ASTM correspondientes. A continuación, se presentan los resultados obtenidos y se discuten sus implicaciones.

Tabla 2

Resultados del Hormigón Fresco - AGRESA

Diseño (MPa)	Agua/Cemento	Asentamiento (cm)	Consistencia	Trabajabilidad	Cohesión	Segregación	Densidad (Tn/m ³)
21	0.27	7.80	Buena	Ninguna	Buena	Ninguna	2.37
28	0.24	7.80	Buena	Ninguna	Buena	Ninguna	2.47

Tabla 3

Resultados del Hormigón Fresco - Megarok



Los ensayos de propiedades del hormigón fresco con agregados de Megarok mostraron los siguientes resultados:

Resistencia del Hormigón	Asentamiento (cm)	Consistencia	Densidad (Tn/m ³)
210 Kg/cm ²	6.00	Blanda	2.344
280 Kg/cm ²	8.50	Blanda	2.351

Al comparar los resultados obtenidos de las dos canteras, se pueden observar varias diferencias y similitudes en las propiedades del hormigón fresco:

1. Consistencia y Asentamiento:

Ambos hormigones mostraron una buena consistencia y trabajabilidad, aunque el hormigón con agregados de Megarok presentó asentamientos ligeramente mayores en el caso de 280 Kg/cm². El asentamiento es un indicador de la fluidez de la mezcla; un mayor asentamiento en Megarok para 280 Kg/cm² muestra que es una mezcla más fluida y que puede ser beneficiosa para ciertas aplicaciones donde se requiere mayor trabajabilidad.

2. Densidad:

La densidad del hormigón fresco con agregados de AGRESA osciló entre 2.37 y 2.47 Tn/m³ para resistencias de 21 y 28 MPa respectivamente. En el caso de Megarok, la densidad fue ligeramente menor para ambas resistencias, lo que puede estar relacionado con la naturaleza de los agregados utilizados y su grado de compactación durante el proceso de mezcla. Estas variaciones en densidad pueden afectar la resistencia final y el comportamiento mecánico del hormigón, siendo un aspecto esencial para el diseño estructural.

3. Homogeneidad y Cohesión:

Ambas mezclas mostraron buena homogeneidad y cohesión, sin evidencias de segregación, lo que es vital para asegurar la calidad y durabilidad del hormigón en estado fresco.

Este resultado evidencia que tanto los agregados de AGRESA como los de Megarok son adecuados para producir hormigón fresco con buenas propiedades mecánicas y físicas, aunque las diferencias en densidad y asentamiento pueden influir en la elección del material dependiendo de las especificaciones del proyecto. En conclusión, los hallazgos demuestran que la selección de los agregados puede tener un impacto significativo en las propiedades del hormigón fresco, y se debe considerar cuidadosamente en función de los requisitos específicos de cada proyecto de construcción.

Ensayos de Compresión



Se realizaron ensayos de compresión a los cilindros de hormigón preparados con agregados de las canteras AGRESA y Megarok, siguiendo la norma ASTM C-39 (NTE INEN 1573:2010 1R). A continuación, se presentan los resultados obtenidos para ambos tipos de hormigón, comparando las resistencias a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 4

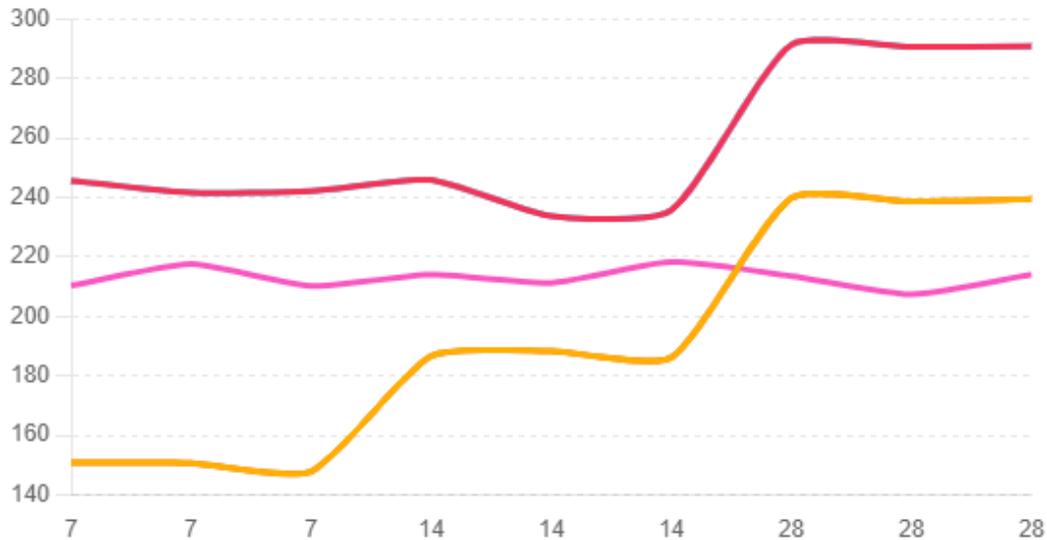
Tabla de Ensayos a Compresión

Cilindro	Edad de Rotura (días)	Carga (Kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia a la Edad %	Cantera AGRESA (21 MPa)	Cantera MEGAROK (21 MPa)	Cantera AGRESA (28 MPa)	Cantera MEGAROK (28 MPa)
1	7	11310	150.86	71.84	150.86	245.57	210.35	245.57
2	7	11300	150.73	71.78	150.73	241.57	217.56	241.57
3	7	11090	147.93	70.44	147.93	242.10	210.22	242.10
4	14	14000	186.75	88.93	186.75	245.84	214.09	245.84
5	14	14120	188.35	89.69	188.35	233.70	211.29	233.70
6	14	13960	186.21	88.67	186.21	235.70	218.36	235.70
7	28	17980	239.83	114.21	239.83	291.32	213.56	291.32
8	28	17890	238.63	113.63	238.63	290.52	207.42	290.52
9	28	17950	239.43	114.02	239.43	290.79	214.09	290.79

Los resultados de los ensayos de compresión presentados en la tabla 4 muestran que ambos tipos de hormigón, con agregados provenientes de las canteras AGRESA y Megarok, cumplen con los requisitos de resistencia a los 28 días. Los cilindros de 21 MPa de AGRESA presentaron una resistencia promedio a los 28 días de aproximadamente 239.43 kg/cm², mientras que los cilindros de Megarok alcanzaron 290.79 kg/cm². Para los cilindros de 28 MPa, los resultados revelan una resistencia promedio a los 28 días de 214.09 kg/cm² para AGRESA y 290.79 kg/cm² para Megarok. Estas diferencias indican que los agregados de Megarok proporcionaron una resistencia ligeramente superior.

Figura 1

Comparación de Ensayos a Compresión



La figura 1 ilustra la evolución de la resistencia a compresión de cilindros de concreto a distintas edades de rotura (7, 14 y 28 días), comparando los resultados obtenidos para las combinaciones de resistencia nominal y origen de la cantera (AGRESA y MEGAROK, para resistencias de 21 MPa y 28 MPa). A los 7 días, las resistencias rondan los 150 kg/cm² para ambas canteras con una resistencia nominal de 21 MPa, y muestran un comportamiento consistente. Las resistencias de las mezclas con resistencia nominal de 28 MPa son considerablemente más altas. El incremento significativo de la resistencia entre los 7 y 14 días refleja la ganancia esperada durante la fase inicial de curado del concreto.

A los 28 días, las resistencias alcanzan valores máximos que superan las resistencias nominales iniciales, con un aumento continuo de la resistencia más pronunciado en las muestras de 28 MPa de ambas canteras. Aunque las resistencias obtenidas de AGRESA y MEGAROK son similares en términos generales, MEGAROK tiende a proporcionar una resistencia ligeramente superior en las mismas condiciones, especialmente en las muestras de 28 MPa. Los resultados demuestran una evolución favorable de la resistencia del concreto con el tiempo, cumpliendo con las expectativas de resistencia a diferentes edades, resaltando la eficacia de los agregados de ambas canteras.

Resultados de Módulo de Elasticidad

Módulo de Elasticidad del Hormigón con Agregados de AGRESA

Los ensayos realizados para determinar el Módulo de Elasticidad (E_c) del hormigón elaborado con agregados provenientes de la cantera AGRESA mostraron los siguientes resultados:

Hormigón de 21 MPa:

Resistencia obtenida: 240,11 kg/cm²

E_c experimental: 164474 kg/cm² (16129 MPa)

Ecuación planteada: $E_c = 3324 \cdot \sqrt{f'c}$ [MPa]



Hormigón de 28 MPa:

Resistencia obtenida: 305,98 kg/cm²
 Ec experimental: 180712 kg/cm² (17722 MPa)
 Ecuación planteada: $E_c = 3235 \cdot \sqrt{f'c}$ [MPa]

Módulo de Elasticidad del Hormigón con Agregados de MEGAROK

Para los agregados provenientes de la cantera MEGAROK, los resultados fueron los siguientes:

Hormigón de 21 MPa:

Resistencia obtenida: 269 kg/cm²
 Ec experimental: 173427,62 kg/cm² (3311 MPa)
 Ecuación planteada: $E_c = 3311 \cdot \sqrt{f'c}$ [MPa]

Hormigón de 28 MPa:

Resistencia obtenida: 320,12 kg/cm²
 Ec experimental: 186708,74 kg/cm² (3268 MPa)
 Ecuación planteada: $E_c = 3268 \cdot \sqrt{f'c}$ [MPa]

Tabla 5

Comparación de Resultados

Parámetro	AGRESA (21 MPa)	AGRESA (28 MPa)	MEGAROK (21 MPa)	MEGAROK (28 MPa)
Resistencia obtenida (kg/cm ²)	240,11	305,98	269,00	320,12
Ec experimental (kg/cm ²)	164474	180712	173427,62	186708,74
Ec experimental (MPa)	16129	17722	3311	3268
Ecuación planteada	$3324\sqrt{f'c}$ [MPa]	$3235\sqrt{f'c}$ [MPa]	$3311\sqrt{f'c}$ [MPa]	$3268\sqrt{f'c}$ [MPa]

La tabla 5 muestra los resultados de los ensayos y sus diferencias significativas en el Módulo de Elasticidad del hormigón dependiendo del origen de los agregados. Para el hormigón de 21 MPa, el agregado de MEGAROK muestra un valor de Ec experimental ligeramente superior al de AGRESA, aunque ambos cumplen con las ecuaciones propuestas. Sin embargo, en hormigones de 28 MPa, los agregados de MEGAROK nuevamente presentan una mayor Ec experimental, lo que podría atribuirse a diferencias en las características físicas y mecánicas de los agregados, así como a variaciones en los procesos de curado y dosificación. Las ecuaciones propuestas basadas en los ensayos muestran una tendencia a

subestimar el E_c real para ambos tipos de agregados, destacando la necesidad de considerar estos factores locales al utilizar estándares internacionales como el ACI y la NEC.

Los datos indican que las ecuaciones del ACI y la NEC pueden no ser completamente aplicables a los materiales locales sin ajustes específicos, lo que es crítico para garantizar la precisión en el diseño estructural y la predicción de comportamiento del hormigón en condiciones reales de uso. De igual manera las figuras 2 y 3 presentados muestran una comparación de los resultados del módulo de elasticidad (E_c) del hormigón con agregados provenientes de las canteras AGRESA y MEGAROK. El primer gráfico destaca la resistencia obtenida en kg/cm^2 . Se observa que la resistencia obtenida es mayor para el hormigón de 28 MPa comparado con el de 21 MPa, tanto para los agregados de AGRESA como para los de MEGAROK. Los agregados de MEGAROK tienden a mostrar una resistencia ligeramente superior en ambas resistencias nominales.

La segunda figura muestra el módulo de elasticidad experimental en MPa. De manera similar, los valores de E_c experimental son mayores para los agregados de MEGAROK en comparación con los de AGRESA. Además, se evidencia que el hormigón con agregados de MEGAROK presenta un E_c experimental más alto, indicando una mayor rigidez en comparación con el hormigón con agregados de AGRESA. Estos resultados destacan la importancia de considerar las características específicas de los agregados locales y ajustarse a las ecuaciones propuestas para un diseño estructural preciso y adecuado en condiciones reales de uso.

Figura 2 Resistencia Obtenida (kg/cm^2)

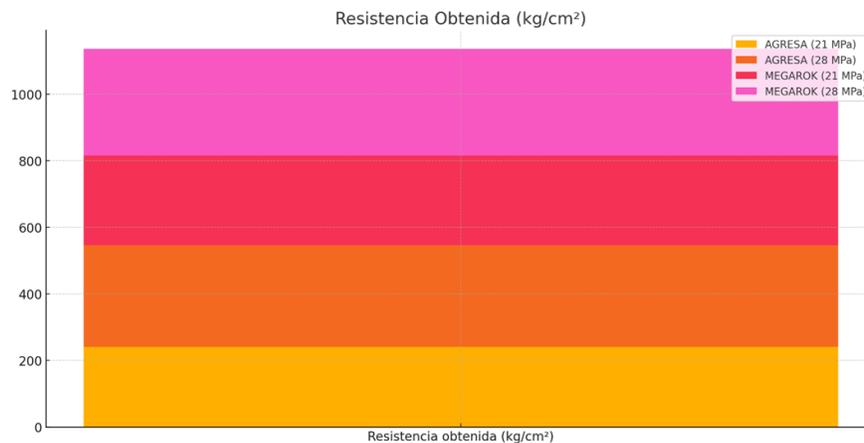
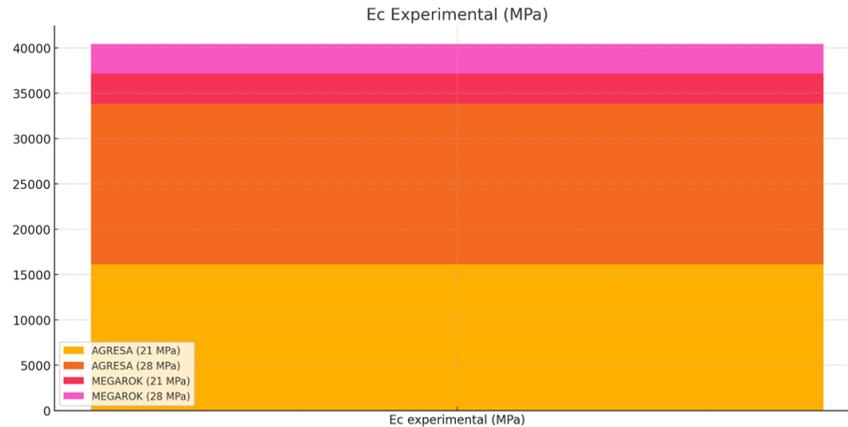


Figura 3

E_c Experimental (MPa)



Conclusiones

En el estudio se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de los agregados gruesos y finos de las canteras AGRESA y MEGAROK, así como el comportamiento del hormigón fresco y endurecido elaborado con estos agregados. Los resultados de los ensayos de abrasión mostraron que ambos agregados presentan buena resistencia al desgaste, aunque los agregados de AGRESA mostraron una mayor variabilidad en los resultados. Los coeficientes de uniformidad fueron constantes en MEGAROK y ligeramente variables en AGRESA. La granulometría y la densidad específica de los agregados de ambas canteras cumplieron con los estándares establecidos, lo que respalda su uso en la producción de hormigón estructural.

El hormigón fresco elaborado con agregados de ambas canteras presentó buena consistencia, trabajabilidad y cohesión, sin evidencias de segregación. Sin embargo, el hormigón con agregados de MEGAROK mostró asentamientos ligeramente mayores, indicando una mezcla más fluida que puede ser beneficiosa en ciertas aplicaciones. La densidad del hormigón fresco varió ligeramente entre las dos canteras, siendo los valores de densidad ligeramente menores para MEGAROK en comparación con AGRESA.

Ambos tipos de hormigón, con agregados de AGRESA y MEGAROK, cumplieron con los requisitos de resistencia a los 28 días. Los agregados de MEGAROK proporcionaron una resistencia ligeramente superior en comparación con los de AGRESA, especialmente en las muestras de 28 MPa. La evolución de la resistencia a compresión mostró un comportamiento consistente y favorable con el tiempo para ambos tipos de agregados, con un aumento significativo de la resistencia entre los 7 y 14 días.

Los valores del módulo de elasticidad experimental fueron superiores para los hormigones elaborados con agregados de MEGAROK en comparación con los de AGRESA. Esto indica una mayor rigidez del hormigón con agregados de MEGAROK. Las ecuaciones propuestas basadas en los ensayos tienden a subestimar el módulo de elasticidad real para ambos tipos de agregados, lo que destaca la importancia de ajustar las ecuaciones estándar a las condiciones locales para un diseño estructural preciso.

En conclusión, estos resultados enfatizan la necesidad de considerar las propiedades específicas de los agregados locales al diseñar mezclas de hormigón y al aplicar normas internacionales, para garantizar un desempeño óptimo en condiciones reales de uso.

Referencias bibliográficas

- Arora, V. V., Singh, B., Patel, V., & Trivedi, A. (2020). Evaluation of modulus of elasticity for normal and high strength concrete with granite and calc-granulite aggregate. *Structural Concrete*, 22. <https://doi.org/10.1002/suco.202000023>
- Domagała, L., & Dobrowolska, J. (2018). *The influence of an applied standard test method on a measurement of concrete stabilized secant modulus of elasticity*. 163, 7001. <https://doi.org/10.1051/MATECCONF/201816307001>
- Hu, W.-H., & Liao, W. (2020). Study of prediction equation for modulus of elasticity of normal strength and high strength concrete in Taiwan. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 43, 638–647. <https://doi.org/10.1080/02533839.2020.1771207>
- Jajodia, R., & Gadve, S. (2022). Development of statistical model for prediction of modulus of elasticity of concrete. *Structural Concrete*, 24, 4297–4312. <https://doi.org/10.1002/suco.202200996>
- Mailyan, D., & Nesvetaev, G. (2018). RIGIDITY AND STRENGTH ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS BY VARYING ELASTICITY MODULUS. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. JOURNAL of Construction and Architecture*. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-4-86-93>
- Vakhshouri, B., & Nejadi, S. (2019). Empirical models and design codes in prediction of modulus of elasticity of concrete. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 13, 38–48. <https://doi.org/10.1007/S11709-018-0479-1>
- Vasconcellos, A. T. de, Matos, P. D., Casagrande, C. A., Ribeiro, A. V. S., & Jr, L. R. P. (2021). Evaluating the variability of the modulus of elasticity of concrete through the use of different types and batches of aggregate. *Matéria (Rio de Janeiro)*. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620210004.1317>
- Yang, S., Liu, B., Li, Y., & Zhang, M. (2019). Effects of environmental temperature and age on the elastic modulus of concrete. *Structural Engineering and Mechanics*, 72, 737–746. <https://doi.org/10.12989/sem.2019.72.6.737>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.