



EFFECTO DE LOS AGREGADOS GRUESOS DISPONIBLES EN LA CIUDAD DE CALI SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA (CAR)

**Alex Oswaldo Meza Muñoz, Juan Camilo Maya Soto, Juan Camilo Beltrán
Henao, Manuel Alejandro Rojas Manzano**

**Pontificia Universidad Javeriana
Cali, Colombia**

Resumen

El concreto es el segundo material de construcción más utilizado en el mundo, después del agua. Dado el avance tecnológico de las materias primas que lo componen, surgió el concreto de alta resistencia (CAR) como una alternativa para la ejecución de proyectos de infraestructura de gran magnitud en el mundo. Sin embargo, en Colombia es necesario incentivar el uso de este tipo de material debido a sus beneficios técnicos y ambientales. De esta forma, este trabajo experimental tuvo como objetivo analizar el efecto del agregado grueso en las propiedades mecánicas del CAR fabricado con materiales disponibles en la Ciudad de Cali. Para alcanzar el objetivo planeado, se ejecutó la caracterización de los cuatro tipos de agregados gruesos seleccionados y demás materiales utilizados en la investigación, siguiendo las especificaciones técnicas de las normas vigentes. Por medio de la metodología de diseño de mezclas del ACI 211.4 se determinó la dosificación base del CAR para alcanzar una resistencia a la compresión de 60 MPa y posteriormente, se fabricaron diferentes concretos con agregados gruesos de distinta procedencia. Por último, se determinaron las propiedades en estado fresco y endurecido de cada concreto. Se concluye que, con los materiales disponibles en la región, es posible fabricar CAR que cumpla las especificaciones técnicas y que las propiedades del agregado grueso pueden influir en el desempeño mecánico del material.

Palabras clave: concreto de alta resistencia; concreto de alto desempeño; agregado grueso

Abstract

Concrete is the second most widely used construction material in the world, after water. Given the technological progress of the raw materials that compose it, high-strength concrete (HSC) has emerged as an alternative for the execution of large-scale infrastructure projects around the world. However, in Colombia it is necessary to encourage the use of this type of material due to its technical and environmental benefits. Thus, the objective of this experimental work was to analyze the effect of coarse aggregate on the mechanical properties of HSC manufactured with materials available in the city of Cali. To achieve the planned objective, the characterization of the four types of selected coarse aggregates and other materials used in the research was carried out, following the technical specifications of the current standards. By means of the ACI 211.4 mix design methodology, the base dosage of the HSC was determined to achieve a compressive strength of 60 MPa, and subsequently, different concretes were manufactured with coarse aggregates of different origin. Finally, the fresh and hardened properties of each concrete were determined. It is concluded that, with the materials available in the region, it is possible to manufacture HSC that meets the technical specifications and that the properties of the coarse aggregate can influence the mechanical performance of the material.

Keywords: *high-strength concrete; coarse aggregate*

1. Introducción

Existen diferentes criterios para definir el concreto de alta resistencia (CAR), por ejemplo, el Instituto Americano del Concreto lo define como aquel que posee una resistencia a la compresión superior a 40 MPa (ACI Committee 211, 2008), así mismo, otros autores lo limitan en función de la relación agua/cemento inferior a 0.4 (Aitcin, 2000). Este tipo de concreto ha sido de vital importancia en el auge de la construcción para suplir mega estructuras que requieren secciones de elementos reducidas y grandes luces entre apoyos. Además, se destacan por el alto contenido cementante, la implementación de aditivos superplastificantes y adiciones minerales que conlleva a una mayor durabilidad y resistencia mecánica.

Cuando se habla de concretos de resistencia normal, el tipo de agregado grueso no influye significativamente en las propiedades mecánicas, porque las fases menos resistentes son la zona de transición y la pasta de cemento hidratada. Sin embargo, en los CAR debido al mejoramiento de estas fases, el agregado tiene influencia directa en la resistencia. Ezeldin & Aitcin (1991) concluyen que cuando se utilizan agregados gruesos de piedra caliza se incrementa la resistencia a la compresión en comparación con fuentes de granito, por otro lado, la resistencia a la flexión no se ve afectada. En efecto, es importante conocer las propiedades del agregado grueso ya que éste toma relevancia en las propiedades de los CAR. En la actualidad se puede llegar a fabricar concretos con resistencia superiores a 100 MPa, por el creciente avance de la tecnología en esta industria, sin embargo, el módulo de elasticidad no crece en la misma proporción. Este parámetro es importante para las estructuras con elementos esbeltos para contrarrestar deformaciones (Zhou et al., 1995). Así mismo, con la mejora de la resistencia en el concreto la fragilidad también

aumenta. En consecuencia, es fundamental encontrar agregados que posean elevadas resistencias y baja fragilidad (Wu et al., 2001).

La variedad de agregados que se pueden encontrar en una determinada zona, región o ciudad obliga a estudiarlos detenidamente para conocer sus propiedades. Estos pueden poseer características mineralógicas distintas debido a que la corteza terrestre no es uniforme y se puede encontrar diferentes minerales en determinado lugar. Así mismo, la forma y textura de las partículas puede influir en la adquisición de las propiedades mecánicas, por lo que toma relevancia el conocimiento de su origen, ya sea provenientes de plantas de trituración o canteras naturales (Zhao et al., 2021). Por lo anteriormente expuesto, este proyecto de investigación se enfoca en viabilizar la fabricación de un CAR por medio del uso de materiales disponibles en la ciudad de Cali, lo que implica una disminución en su costo e impacto ambiental. La falta de investigaciones en este campo en la región fue lo que motivó la realización del estudio para la selección y caracterización de los materiales que constituyen un CAR. Finalmente, se pretende determinar una dosificación para la producción del concreto y posterior determinación de sus propiedades en estado fresco y endurecido.

2. Metodología

Para dar alcance a los objetivos planteados de la investigación, se desarrolló un programa experimental que comprende de 3 etapas: a) la caracterización de los agregados y cemento a usar, por medio de ensayos basados en las normas nacionales e internacionales; b) el diseño de la mezcla usando el método ACI 211.4 y la elaboración de los diferentes concretos; c) los ensayos en estado fresco y endurecido realizados a los especímenes de prueba para conocer sus propiedades a diferentes edades.

Es importante aclarar que, se seleccionaron 4 tipos de agregado grueso de trituración disponibles comercialmente en la ciudad de Cali, ya el agregado fino es una arena fina proveniente de río, el cemento es de alta resistencia temprana (ART) y el superplastificante es a base de policarboxilato.

2.1. Caracterización de Materiales

A continuación, se describen los métodos de caracterización de los diferentes materiales utilizados en la investigación, así como sus resultados.

2.1.1. Caracterización de los agregados

Los ensayos realizados con el fin de conocer las propiedades de los agregados fueron los siguientes: granulometría, gravedad específica, masas unitarias, desgaste e impurezas orgánicas. En la Figura 1 se muestran de forma comparativa los 4 agregados gruesos seleccionados para esta investigación.

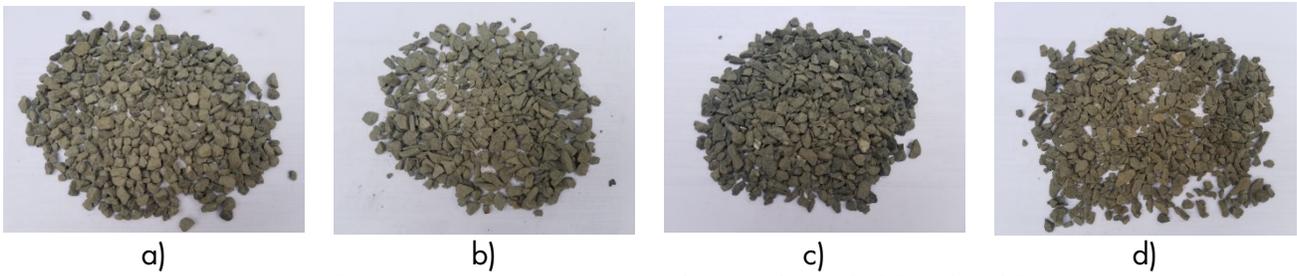


Figura 1. Diferentes muestras de agregado: a) tipo 1 b) Tipo 2 c) Tipo 3 y d) Tipo 4.

En la Figura 2 se presenta el comparativo de las curvas granulométricas de los 4 agregados seleccionados.

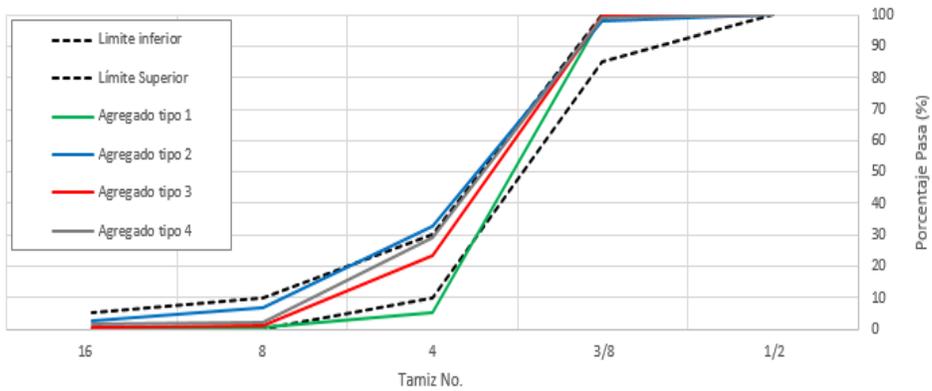


Figura 2. Granulometría agregado grueso.

Se puede apreciar que los agregados 3 y 4 cumplen con los límites establecidos por la norma, el 2 cumple con la gran mayoría de la especificación y el 1 presenta la mayor diferencia con límites establecidos, pero este se ajusta en la mayor parte de la especificación.

En la Figura 3 se muestra la curva granulométrica del agregado fino utilizado, así como los límites normativos.

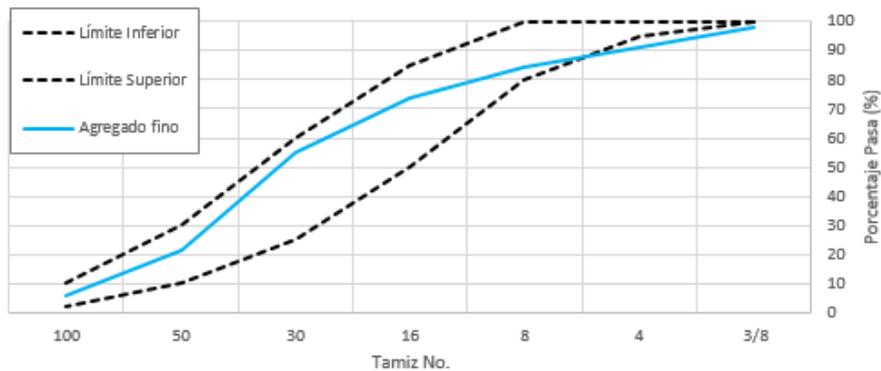


Figura 3. Granulometría agregado fino.

Se evidencia como la arena de río empleada cumple en su mayoría con los límites de la especificación técnica para agregado fino. La Tabla 1 presenta un resumen de los resultados de la caracterización de los agregados empleados en el programa experimental.

Tabla 1. Caracterización agregado grueso y fino.

Grueso				
Cantera	Gravedad Específica sss	Absorción %	Masa Unitaria (Kg/m ³)	Desgaste %
Agregado tipo 1	2.89	1.70	1.67	14.9
Agregado tipo 2	2.89	0.91	1.86	17.4
Agregado tipo 3	2.84	2.49	1.51	28.0
Agregado tipo 4	2.84	1.26	2.28	16.9
Fino				
Agregado fino	2.77	2.46	1.75	Color normal estándar No.11

Se puede apreciar que, en cuanto a los valores de gravedad específica, estos son muy similares entre los diferentes tipos de fuente, en la absorción se percibe una gran diferencia en el agregado 3, el cual presenta un valor superior, lo cual indica que posee una porosidad mayor. Esto se reafirma con los valores encontrados de desgaste. Por último, en cuanto a la masa unitaria, entre los agregados 1, 2 y 3 no hubo diferencias significativas, pero el agregado 4 sí presentó un valor notablemente mayor, lo que se puede deber al mejor acomodamiento de sus partículas.

2.1.2. Caracterización del cemento:

Con el objetivo de determinar las propiedades del cemento utilizado se realizaron los siguientes ensayos: Finura por permeámetro de Blaine, Densidad, Consistencia Normal y Tiempos de Fraguado. En la Tabla 2 se muestra un resumen de los resultados de la caracterización.

Tabla 2. Caracterización del cemento.

Cemento ART			
Consistencia (g)	Finura (m ² /Kg)	Densidad (g/cm ³)	Tiempo de fraguado (min)
177	414	3.13	140/180

Es importante aclarar que el cemento utilizado cumplió con las especificaciones técnicas en las propiedades evaluadas. El tiempo de fraguado inicial estuvo dentro de lo exigido por la norma NTC 121, ya que no es menor a 45 minutos, ni mayor a 420 minutos.

2.2. Diseño de mezcla y elaboración de concretos

Una vez obtenidos los datos de la caracterización, se procedió a determinar la dosificación del concreto, según las recomendaciones del ACI 211.4. La resistencia a la compresión de dosificación a los 28 días fue de 60 MPa, el asentamiento especificado fue de 8 ± 1 cm y se hizo uso de un aditivo super plastificante en proporción de 1 a 2% en peso del cemento. A continuación, en la Tabla 3 se presentan las cantidades obtenidas del diseño:

Tabla 3. Dosificación del concreto.

Componente	SSS (kg/m³)	Tecnológica
Arena	650	1.30
Grava	1,100	2.20
Cemento	500	1.00
Agua	200	0.40
Aditivo	Var.	Var.

Para el evaluar desempeño de los diferentes agregados usados, se hizo uso de un mismo diseño de mezcla, manteniendo constante la masa de cada agregado grueso y solamente se varió la cantidad de aditivo superplastificante. Se prepararon 4 concretos, uno para cada tipo de agregado grueso, con la fabricación de por lo menos 6 especímenes de prueba cilíndricos de 10x20cm para cada mezcla y se utilizó el curado en inmersión.

2.3. Ensayos del concreto en estado endurecido

Se determinó la resistencia a la compresión del concreto y el ensayo de pulso ultrasónico (ASTM C597), tanto a los 7 como a los 28 días. Este ensayo del tipo no destructivo constituye una herramienta de gran utilidad para determinar la calidad del concreto endurecido, ya que mayor velocidad de onda, mayor uniformidad y densidad del medio por el cual se transmite esta, lo que se traduce en una mayor calidad de concreto.

Como etapa previa al ensayo de compresión unidimensional se tomaron las medidas y peso de los especímenes, lo que permite conocer la densidad de estos, esto puede dar una idea de cual puede contar con mejor proceso de elaboración o si este es un factor invariable.

3. Resultados y discusión

3.1. Efecto de la calidad del agregado grueso sobre la resistencia a la compresión del concreto

En la Figura 1 se presenta la resistencia a la compresión de los CAR a diferentes edades. Cabe aclarar que, independiente del tipo de agregado, todos los concretos alcanzaron la resistencia de dosificación de 60 MPa a 28 días. Lo anterior, demuestra la validez del método de diseño de mezcla escogido. Como era de esperar, esta propiedad aumentó con la edad en todos los concretos fabricados. Además, se observa que el tipo de agregado grueso tiene un efecto significativo sobre la resistencia del concreto, siendo que se obtuvo mayores valores en la mezcla preparada con el agregado 4, mientras que el menor valor se obtuvo con el agregado 3.

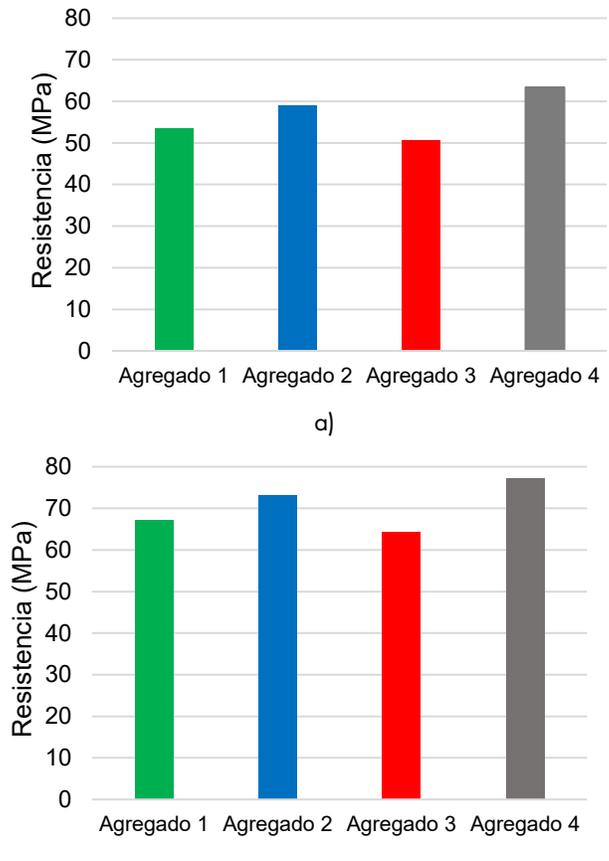
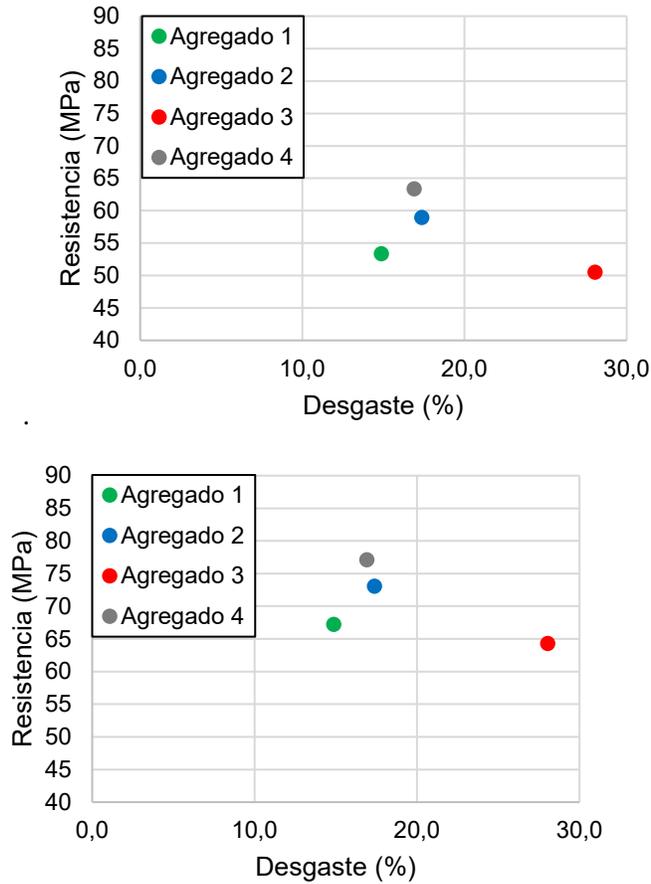


Figura 1. Resultados de resistencia a la compresión para: a) 7 días y b) 28 días.

Los datos obtenidos en este estudio sugieren que, en un CAR, la resistencia a la compresión depende de la calidad del agregado grueso, debido a que la pasta de cemento endurecido y la zona de transición no establecen el límite superior de la resistencia a la compresión del concreto. Estos resultados están en concordancia con lo expuesto por Ezeldin, *et al.*, (1991). pues encontró que la mineralogía y la resistencia del agregado grueso influye en la resistencia de las mezclas de CAR.

3.2. Relación entre el desgaste del agregado y la resistencia del concreto

En la Figura 2 se presenta el desgaste de los cuatro tipos de agregados en relación con la resistencia a la compresión de los concretos



b)
Figura 2. Resultados de Desgaste (%) vs. Resistencia a la compresión (MPa) para: a) 7 días y b) 28 días.

Se observa que existe una leve tendencia a que, a mayor desgaste de los agregados gruesos, hubo una menor resistencia del concreto. Más estudios deberán adelantarse para comprobar este comportamiento.

3.4. Efecto de la absorción del agregado sobre la resistencia del concreto

La Figura 3 muestra la relación entre la absorción y la resistencia a la compresión del concreto a

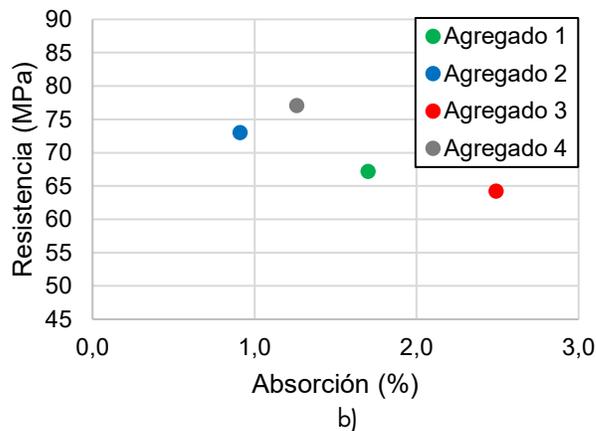
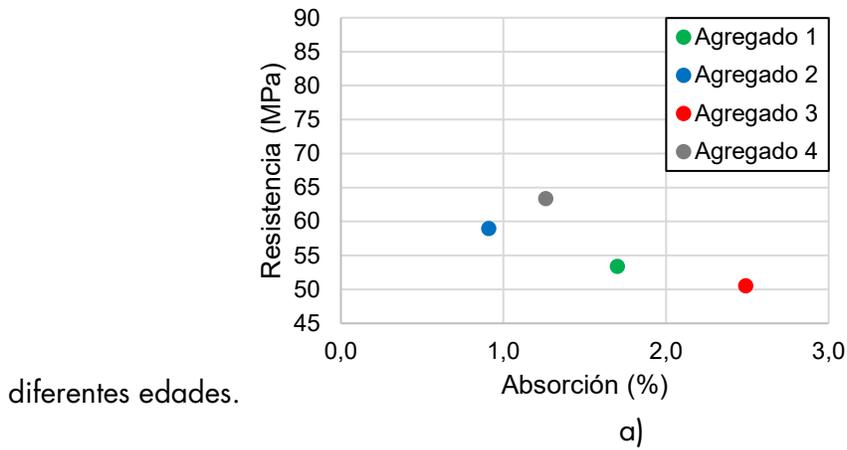


Figura 3. Resultados de Absorción (%) vs. Resistencia a la compresión (MPa) para: a) 7 días y b) 28 días.

Se observa una tendencia, en las dos edades analizadas, a que, a mayor absorción del agregado grueso, menor es la resistencia a la compresión del CAR. Lo cual pone en evidencia la importancia de esta propiedad para las propiedades mecánicas del concreto.

3.5. Efecto de la densidad aparente y la resistencia del concreto

La Figura 4 muestra la relación entre la densidad aparente y la resistencia de los concretos a diferentes edades.

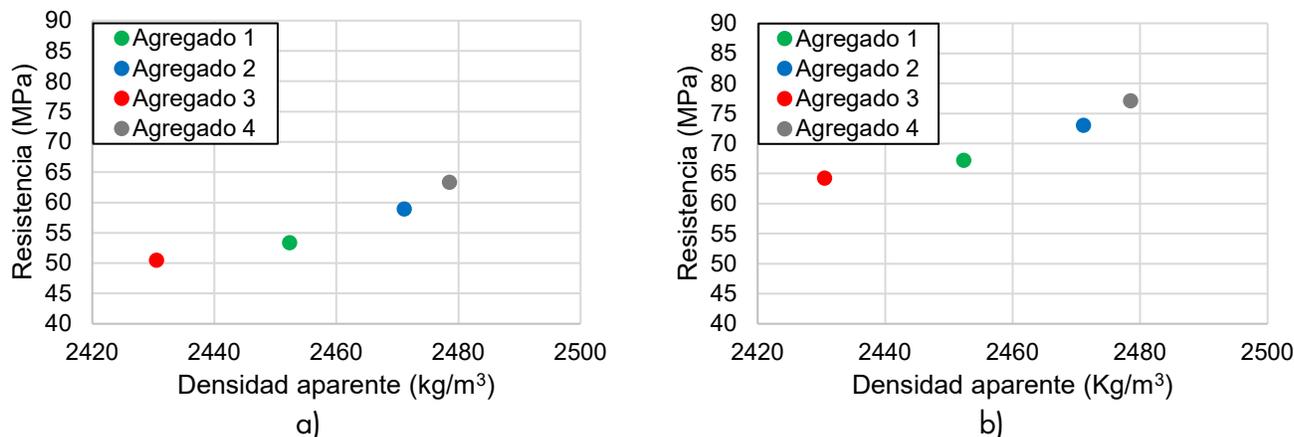


Figura 4. Resultados de Densidad aparente (kg/m³) vs. Resistencia a la compresión (MPa) para: a) 7 días y b) 28 días.

Como se esperaba, en las dos figuras se puede observar que existe una relación directamente proporcional entre la resistencia a la compresión y la densidad aparente de los concretos. De nuevo, se observa que el agregado 3 produjo los mayores valores de densidad en el CAR.

4. Conclusiones

Con los resultados obtenidos de esta investigación se puede concluir que:

- Independiente del tipo de agregado grueso utilizado, los concretos alcanzaron la resistencia de dosificación de 60 MPa a los 28 días.
- El tipo de agregado grueso influye en las propiedades mecánicas del CAR. Cabe resaltar que, la absorción del agregado mostró una relación inversamente proporcional con la resistencia a la compresión del concreto.
- El desgaste de los agregados gruesos no mostró una correlación directa con la resistencia del concreto, posiblemente un factor fundamental esté asociado con la forma y textura de las partículas de los agregados.
- La densidad aparente del concreto es directamente proporcional a la resistencia a la compresión del CAR.
- Se demostró que es posible fabricar CAR con las materias primas disponibles en la ciudad de Cali.

5. Referencias

- ACI Committee 211. (2008). ACI 211.4R-08: Guide for Selecting Proportions for High-strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials. pp. 1–25
- Aitcin, P. C. Concreto de Alto Desempenho. São Paulo: Ed. PINI, 2000.
- Ezeldin, A. S., & Aitcin, P. C. (1991). Effect of coarse aggregate on the behavior of normal and high-strength concretes. Cement, Concrete and Aggregates, Vol. 13, No. 2, pp. 121–124.



- Zhou, F. P., Lydon, F. D., & Barr, B. I. G. (1995). Effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of highperformance concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 1, pp. 177–186.
- Wu, K. R., Chen, B., Yao, W., & Zhang, D. (2001). Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, No. 10, pp. 1421–1425.
- Zhao, Y., Duan, Y., Zhu, L., Wang, Y., & Jin, Z. (2021). Characterization of coarse aggregate morphology and its effect on rheological and mechanical properties of fresh concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 286, pp 1-2.

Sobre los autores

- **Alex Oswaldo Meza Muñoz:** Estudiante de Ingeniería Civil. alexmeza@javerianacali.edu.co
- **Juan Camilo Maya Soto:** Estudiante de Ingeniería Civil. camiloman10@javerianacali.edu.co
- **Juan Camilo Beltrán Henao:** Estudiante de Ingeniería Civil. camilobeltran18@javerianacali.edu.co
- **Manuel Alejandro Rojas Manzano:** Ingeniero Civil, Especialista en Administración de Empresas de la Construcción, Magister en Estructuras, Doctor en Construcción. Profesor Asistente. alejandro.rojas@javerianacali.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

