

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespfeb.0086>

CARACTERÍSTICAS DE DOS AGREGADOS GRUESOS TRITURADOS QUE INFLUYEN EN LA POROSIDAD DEL HORMIGÓN

CHARACTERISTICS OF TWO CRUSHED COARSE AGGREGATES THAT INFLUENCE THE POROSITY OF CONCRETE

García-Moreta Lisbeth Dayana ¹; Morrillo-García Vanessa Andreina ²;
Guerra-Mera Juan Carlos ³

¹ Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.
Correo: lgarcia8114@utm.edu.ec.

² Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.
Correo: vmorrillo7960@utm.edu.ec.

³ Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.
Correo: juan.guerra@utm.edu.ec.

Resumen

Los agregados gruesos tienen sus respectivas características, y de ello depende el comportamiento del hormigón, en sus propiedades físicas – mecánicas, así como también en su desempeño en estado fresco o endurecido. Para determinar las características del agregado grueso, la presente investigación, pretende analizar cómo influye la cantidad de agua agregada en el hormigón, de acuerdo a la norma establecida; y a su vez, como esta influye en la porosidad del hormigón de 210 Kg/cm². Para la consecución del presente objetivo, se empleó la metodología cuantitativa, la misma, que partió de un diseño experimental. Las muestras de los agregados gruesos, provinieron de dos canteras de diferentes provincias, una de Santo Domingo de los Tsáchilas y la otra de Manabí. Las pruebas realizadas se las ejecutaron de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C39, a un total de 48 probetas. Para determinar la porosidad capilar del hormigón, se basó en la metodología establecida por Göran Fagerlund. De los resultados obtenidos, se pudo evidenciar que los agregados gruesos de ambas canteras, obtuvieron valores por debajo del 10%, dentro del porcentaje de porosidad capilar efectivo. Siendo el tamaño del agregado grueso, una de las principales características en la composición del hormigón, para que tenga una buena durabilidad en base de la porosidad capilar efectiva.

Palabras clave: Agregado grueso, caracterización, porosidad.

Abstract

Coarse aggregates have their own characteristics and the behavior of the concrete depends on this, both in terms of its physical-mechanical properties and its performance in the fresh or hardened state. In order to determine the characteristics of the coarse aggregate, this research aims to analyze the influence of the amount of water added to the concrete, according to the established standard; and in turn, how this influences the porosity of the concrete of 210 Kg/cm². Therefore, to achieve this objective, a quantitative methodology based on an experimental design was used. The coarse aggregate samples that came from two quarries located in different provinces, one in Santo Domingo de los Tsáchilas and the other in Manabí. The tests were carried out in accordance with ASTM C39 on a total of 48 specimens. The method developed by Göran Fagerlund was used to determine the capillary porosity of the concrete. The results showed that

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 09 de diciembre de 2022.

Fecha de aceptación: 03 de febrero de 2023.

Fecha de publicación: 27 de febrero de 2023.



the coarse aggregates from both quarries reached values below 10%, within the percentage of effective capillary porosity. Since the size of the coarse aggregate is one of the most important characteristics in the composition of the concrete. It is therefore important that the concrete has a good durability based on the effective capillary porosity.

Keywords: Coarse aggregate, characterization, porosity.

1. Introducción

El hormigón, es un material compuesto por la mezcla de agregados pétreos, cemento, agua y aditivos; mismo que se utiliza en la construcción, debido a sus características, entre las que se resaltan: su maleabilidad en estado fresco, consistencia y durabilidad a largo plazo. Es por ello, que surge la necesidad de evaluar el desempeño por durabilidad del hormigón.

Tradicionalmente en Latinoamérica, incluido Ecuador, y algunos países europeos, dicha evaluación se realiza mediante la determinación de su resistencia a compresión. No obstante, existen otras variables que permiten evaluarlo de una manera más detallada, razón por la cual Guerra et al. (2018) sugiere que, “la porosidad efectiva juega un papel fundamental en el desempeño por durabilidad del hormigón, ya que es un parámetro que, en dependencia de su valor, permite de una manera

exacta y precisa establecer y evaluar la calidad del hormigón.”

La propiedad en mención, se puede definir como una medida del volumen total de los poros, que se encuentra en la estructura interna del hormigón endurecido; pero esto depende de diversos factores, para lo cual se analizó el impacto del agregado grueso desde su caracterización, dado que constituyen un porcentaje considerable del volumen total de un hormigón.

Las características de los agregados, tienen un efecto significativo en el comportamiento del hormigón, tanto en estado fresco como endurecido, así como en las propiedades físicas-mecánicas del mismo. Las propiedades de porosidad del hormigón se pueden ver afectadas, por diferentes características de sus agregados, entre las que resaltan forma y textura, desgaste, absorción,

tamaño máximo nominal (TMN), gravedad específica.

La finalidad primordial de la presente investigación, es analizar determinadas características del agregado grueso, que generan variabilidad en la demanda de agua en la composición del hormigón y su influencia en la porosidad, así como en la resistencia a compresión, esperando alcanzar una resistencia igual o superior a 210 kg/cm^2 , mediante ensayos de laboratorio cuyos agregados son provenientes de diferentes canteras. (Cantera "SD" procedente de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y la Cantera "M" para referirse a la cantera ubicada en la provincia de Manabí).

Fundamentación teórica

La preparación del hormigón, es decir, su dosificación y las técnicas que se empleen en su preparación, precisan de control y conocimiento de los materiales, además, de factores que puedan incidir en sus propiedades, específicamente la clasificación, forma, textura y proporción de agregados tanto gruesos como finos a emplearse en la mezcla, ya que afectan la

trabajabilidad en estado fresco, así como, en la resistencia en el hormigón endurecido. Aguilar et. al (2019) afirma que: "conocer las propiedades de los agregados conlleva a la posibilidad de realizar mejores diseños de mezclas de concretos y asfaltos, ya que se pueden obtener resistencias estimadas y durabilidades más prolongadas" (pág. 1).

Arteaga & Patiño (2018), concluye que, "la proporción del agregado grueso varía para cada uno de los contenidos de vacío y diseño de mezcla del hormigón, lo cual repercute en la permeabilidad de cada una de las muestras ensayadas" (pág. 90), dando como resultado diferentes índices en las propiedades físico-mecánicas.

De acuerdo con Hernández (2021), "mezclas de concreto con un mayor tamaño de agregado grueso, para un mismo contenido de cemento y consistencia, requiere un menor contenido de agua en comparación con concretos con menor tamaño de agregado" (pág. 2).

Las propiedades tanto físicas como mecánicas de los agregados, son de vital importancia en la durabilidad y

resistencia del hormigón, siendo la porosidad una de ellas. Solís Moreno (2006), sostiene “que la propiedad en estudio es una medida del volumen total de los poros que se encuentra en la estructura interna del concreto endurecido; depende de su relación entre el agua y el cemento (A/C), el grado de hidratación del cemento, el volumen de aire atrapado y las proporciones entre los agregados fino y grueso”. Los agregados representan aproximadamente, tres cuartas partes del volumen del hormigón, por lo que su propia porosidad tiene una gran influencia en la porosidad total del hormigón.

Por lo que se puede sostener que, para obtener un hormigón durable se deben tomar en cuenta los aspectos relacionados con la calidad de los materiales, considerando las condiciones de servicio y exposición para un correcto diseño y una adecuada supervisión constructiva (Hernández, 2017).

Como una herramienta necesaria y suficiente sobre la durabilidad de estructuras de hormigón armado, no basta solamente la determinación de la resistencia a la compresión, sino que además se tiene la necesidad de

obtener hormigones con un porcentaje de porosidad efectiva capilar inferior al 10% (Guerra et al., 2023).

2. Metodología

En la presente investigación, el análisis estadístico, descriptivo e inferencial se realizó mediante el programa estadístico SPSS versión 25, se empleó una metodología de tipo cuantitativa, la cual partió de un diseño experimental, donde la información se recolectó mediante la caracterización del agregado grueso y el respectivo ensayo de porosidad efectiva (Norma ASTM C-1585); para ello se utilizó dos tipos de agregados gruesos triturados provenientes de canteras diferentes (Cantera “SD” - Cantera “M”)

Los ensayos de laboratorio para la caracterización de los mismos, se realizaron dentro de las instalaciones de la Universidad Técnica de Manabí, estos fueron: Ensayo de humedad natural (AASHTO T-265), pesos unitarios (ASTM C-29), pesos específicos y absorciones de agregados (AASHTO T-85), análisis granulométrico por tamizado

(AASHTO T-88), ensayo de abrasión (ASTM C131).

Preparación y curado de especímenes

Se elaboraron en total 56 probetas de hormigón, con relación

agua/cemento (a/c) de 0.40 (28 probetas) y 0.45 (28 probetas). El tamaño de los moldes fue de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. En la Tabla 1 se muestra la proporción de las mezclas de hormigón.

Tabla 1. Proporciones para la elaboración de 1 m³ de mezcla de hormigón.

Mezcla de concreto	SD	M	SD	M
a/c	0.40	0.40	0.45	0.45
Ag. Grueso (kg)	800.88	874.18	800.88	874.18
Ag. fino (kg)	786.95	758.90	786.95	758.90
Cemento (kg)	569.57	551.60	506.28	490.31
Agua (kg)	227.83	220.64	227.83	220.64

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de resistencia a la compresión

Se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión, a los 7,14, 21 y 28 días de curado de acuerdo a la norma ASTM C39 a 3 cilindros por cada relación a/c (0.40 - 0.45), de cada cantera (Cantera "SD" - Cantera "M"), teniendo un total de 48 probetas, empleando una máquina de ensayo de compresión.

Determinación de la porosidad efectiva

La porosidad capilar del hormigón (Pc), para los cuatro diseños de dosificaciones, se determinó de acuerdo a la metodología

establecida por Göran Fagerlund, referenciada en la norma a partir de la absorción capilar del agua en probetas de hormigones (ASTM C 1585).

Se escogieron 2 probetas de hormigón por cada relación a/c (0,40 - 0,45), por cada cantera (Cantera "SD" - Cantera "M") a 28 días de curado, mismas que fueron cortadas en una sierra de tungsteno de marca CUSHION CUT de fabricación estadounidense, obteniendo un total de 24 especímenes, cuyo espesor fue de 3 cm.

Las muestras fueron medidas y pesadas, posteriormente se

colocaron en un horno a una temperatura de $50 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 3 días, transcurrido este tiempo se tomaron sus respectivos pesos, con la obtención de estos datos, se procedió a sellar la superficie lateral de cada muestra con un material de sellado adecuado (parafina), luego en recipientes impermeables se colocaron dispositivos de apoyo para las probetas de 5 mm, se llenó el recipiente con agua, de manera que el nivel de agua estuvo por encima de la parte superior del dispositivo, se registró la masa de las probetas a los intervalos respectivos después del primer contacto con el agua.

Es necesario obtener dos parámetros fundamentales como son la resistencia a la penetración del agua (m) y el coeficiente de absorción capilar (k).

La resistencia a la penetración del agua (m), se calcula de acuerdo con la ecuación 1.

$$m = \frac{t}{z^2}, \quad \frac{s}{m^2} \quad (1).$$

- o z : Espesor de la muestra, m.
- o t : Tiempo, s.

El coeficiente de absorción, se calcula de acuerdo con la ecuación 2.

$$k = \frac{(W_t - W_0)/A}{\sqrt{t}} \quad \text{kg/m}^2\text{s}^{1/2} \quad (2).$$

- o A : Área de la zona circular que permaneció en contacto directo.
- o W_t : Masa de la probeta final.
- o W_0 : Masa de la probeta inicial.

El porcentaje de porosidad capilar efectiva

$$P_c = \frac{k\sqrt{m}}{1000} \quad \% \quad (3).$$

3. Resultados

Se debe destacar que, en la investigación experimental, se utilizó agregados gruesos triturados provenientes de dos canteras (Cantera "SD" - Cantera "M"), con los cuales se realizó los respectivos ensayos normados, con el fin de caracterizar al material y posteriormente determinar la porosidad del hormigón.

3.1. Caracterización del agregado

Forma del agregado

La forma de las partículas afecta la trabajabilidad y colocación del hormigón en estado fresco.

Figura 1. Morfología del agregado grueso "Cantera SD – Cantera M".



Fuente: Elaboración propia.

Análisis por imagen

Tabla 2. Morfología del agregado grueso.

A.G. Canteras SD		A.G. Cantera M	
Aplanadas, angulares: 30%	alargadas,	Aplanadas, angulares: 3%	alargadas,

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que existe un mayor porcentaje de partículas alargadas, aplanadas, en los agregados de la cantera SD; en tanto los provenientes de la cantera M tienen poca presencia de estas partículas.

Textura

En gran proporción la textura de ambos agregados era rugosa, no obstante, se debe indicar que para el agregado grueso de la cantera "SD" hubo presencia de ciertas partículas con tejido liso, misma que no fue superior al 3% a la masa total del material.

Desgaste (Ensayo de Abrasión)

En la tabla 3, se tabulan los resultados del ensayo en la máquina de los Ángeles. Se encuentra mayor porcentaje de pérdida de masa en el agregado proveniente de la cantera "SD".

Tabla 3. Resultados ensayo desgaste por abrasión. “Cantera SD”, “Cantera M”.

Desgaste por abrasión	“Cantera SD”	“Cantera M”
Masa inicial (g)	5000	5000
Masa final (g)	3665	4018
Perdida (%)	26,70	19,64

Fuente: Elaboración propia.

Absorción

En este apartado se determina el porcentaje de absorción y la porosidad existente en el material (agregado grueso).

Para el agregado de la cantera “SD”, se obtuvo un porcentaje de absorción de agua igual a 1.605 %, mientras que para el agregado de la cantera “M” fue de 5.820 %.

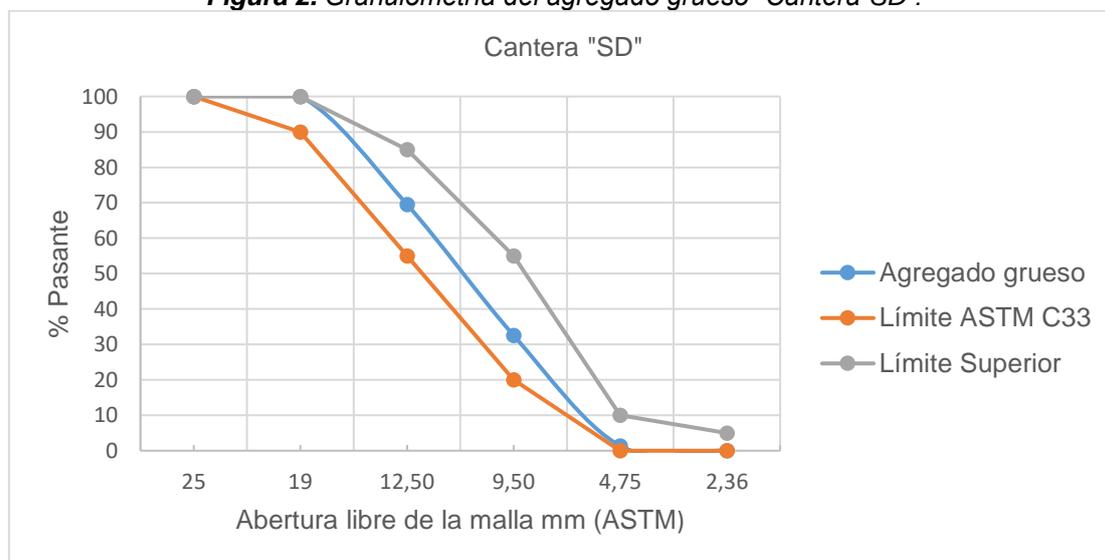
Tamaño máximo nominal (TMN)

Para ambos agregados en estudio su TMN fue de 12.5 mm, sin embargo, es importante mencionar que en el caso del material

proveniente de la cantera “SD”, una vez realizado el ensayo de granulometría los pesos retenidos en los tamices de ½ in (12.5 mm), ⅜ in (9.5 mm) y N° 4 (4.75 mm), fueron ligeramente uniformes.

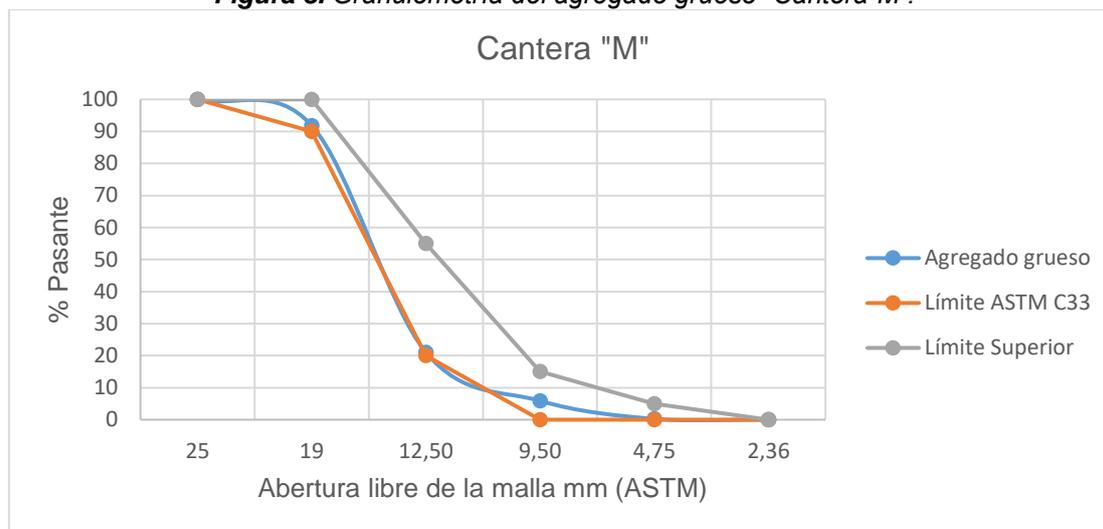
Curva granulométrica del agregado grueso

La figura 2 y 3, detallan las fajas granulométricas obtenidas por el material grueso de la cantera “SD” y “M” respectivamente, verificando el cumplimiento de los estándares establecidos por los límites en ASTM C 33.

Figura 2. Granulometría del agregado grueso “Cantera SD”.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Granulometría del agregado grueso "Cantera M".



Fuente: Elaboración propia.

En función de las gráficas anteriores, se tiene que, los agregados de la cantera SD tienen una curva granulométrica "completa", dado la distribución de sus partículas; mientras que la distribución de los agregados de la cantera M, se concentró en los tamices iniciales.

Gravedad específica

En esta parte, se analiza la relación entre la densidad del agregado grueso y la densidad del agua, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 4. Resultados ensayo gravedad específica. "Cantera SD", "Cantera M".

	Cantera "SD"	Cantera "M"
Gravedad específica s.s.s	2710.027	2701.243
Gravedad específica Aparente	2786.523	2998.096

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Porosidad

El porcentaje de porosidad efectiva presente en los especímenes de

hormigón, se analizó en base a la relación a/c y al agregado grueso.

Tabla 5. Resultados ensayo porosidad efectiva. "Cantera SD", "Cantera M".

Porosidad efectiva para relación agua/cemento de 0,40 y 0,45.			
(Relaciones a/c)	Total, de especímenes	Porosidad efectiva, %	Desviación típica, %
0.40 - "SD"	6	8,15	0,27
0.40 - "M"	6	8,02	0,31

0.45 - "SD"	6	9,87	0,76
0.45 - "M"	6	9,27	0,44

Fuente: Elaboración propia.

Puede apreciarse en la tabla 5, que para el porcentaje de porosidad capilar efectivo en los dos tipos de agregados gruesos con una misma relación agua/cemento de 0,40, la media de la variable evaluada tiene valores por debajo del 10%. En cambio, en la relación agua/cemento 0,45, a pesar que ambas tienen valores por debajo del 10%, queda claro que el agregado grueso de la cantera M registra la menor en las puntuaciones.

Basándose en el porcentaje de porosidad efectiva calculado y en contraste con la Clasificación de los valores de porcentaje de porosidad establecidas en la RED DURAR de CyTED (Programa iberoamericano

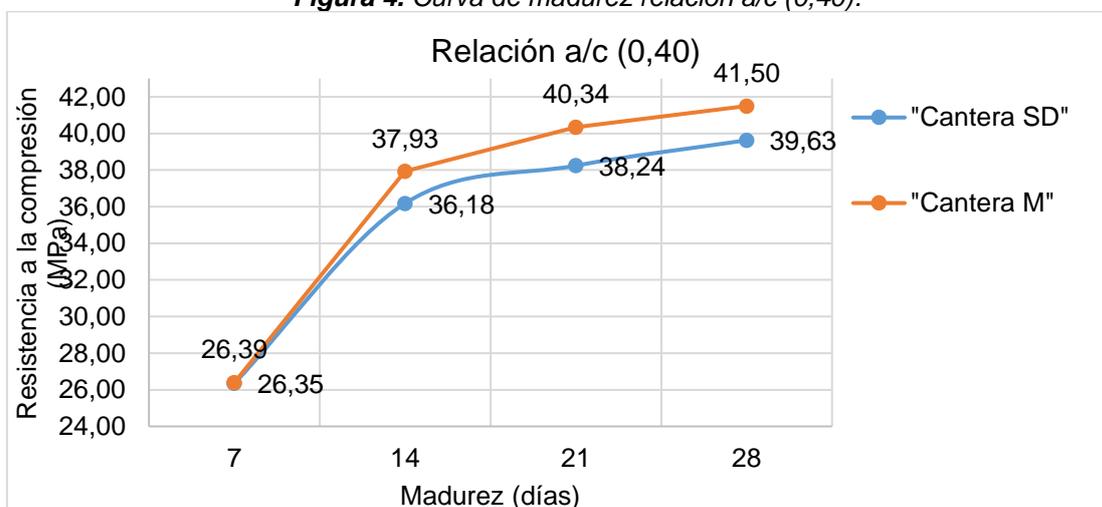
de ciencia y tecnología para el desarrollo, que lo conforman la comunidad iberoamericana de naciones), se tiene que el hormigón alcanzado es de buena calidad y compacidad.

Cabe mencionar que, de acuerdo con los resultados obtenidos la relación a/c es directamente proporcional a la porosidad efectiva del hormigón, pues si la relación a/c es menor, el porcentaje de dicha propiedad tiende a disminuir, es decir el hormigón es menos poroso.

3.3. Resistencia a la compresión

Los resultados obtenidos para los cilindros ensayos, cuya relación a/c es 0.40 fueron:

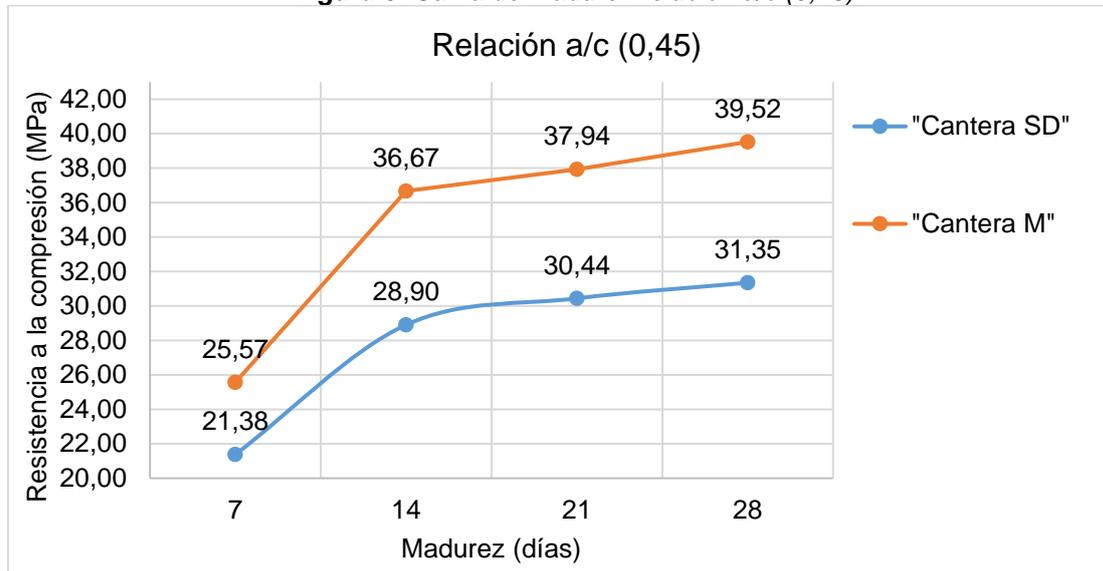
Figura 4. Curva de madurez relación a/c (0,40).



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos para los cilindros ensayos, cuya relación a/c es 0.45 fueron:

Figura 5. Curva de madurez relación a/c (0,45).



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el análisis en la tabulación de los datos recogido de las dos relaciones agua/cemento, se observa que todos los ensayos dan satisfactorio en el ensayo de resistencia a la compresión de la cantera M, superando la resistencia media y característica, las resistencias obtenidas son superiores a la resistencia de la cantera SD. En la relación agua/cemento 0,40 las puntuaciones son superiores en 1,87 MPa y en la de 0,45 su diferencia es mayor en 8,17 MPa.

4. Conclusiones

Una vez realizado los ensayos pertinentes, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Las características del agregado grueso inciden notoriamente en las resistencias y porosidades del hormigón, esta última se define como la cantidad de vacíos en el total del volumen del material. Entre las que se destaca:
 - La forma y tamaño influye en la distribución y acomodo de las partículas que constituyen el hormigón, es por ello que

dependiendo de estos aspectos éstos formarán más o menos vacíos, mismo que se ven reflejados al momento de calcular la porosidad efectiva de los especímenes ensayados.

- El valor de absorción de agua en el agregado grueso, se asocia con la porosidad propia del material, y por consiguiente dicha propiedad modifica la porosidad total del hormigón.
- La textura altera la adherencia de las partículas del agregado con los demás componentes del hormigón, generando una mejor o peor unión entre ellos, teniendo un efecto directo en la resistencia a compresión del material.
- La porosidad del hormigón repercute directamente en la resistencia del mismo, pues entre más poroso sea el material menor será su resistencia a compresión.
- Para finalizar, es importante destacar que, el tamaño del agregado es una de las principales características en la incidencia tanto de la porosidad como la resistencia a

compresión del hormigón, pues se obtendrá mejores resultados con un material de menor tamaño, en comparación a uno mucho más grande o del mismo tamaño y porosidades similares.

Bibliografía

Aguilar, L., Loria, D., & Kaul, S. (2019). Caracterización de agregados calizos

para la elaboración de concreto en Valladolid, Yucatán. *Revista AvaCient*, VII (2), 115-123. ISSN 2594-018X. Recuperado de: <http://www.itchetumal.edu.mx/images/2019/12DICIEMBRE/AVACIENT/2/12.pdf>

Arteaga, D. M., & Patiño, C. A. (2018). Análisis de contenidos de vacíos para

el diseño de mezclas del concreto permeable con aditivo sikacem en pavimentos de Lima, 2018. Universidad Cesar Vallejo, Lima

ASTM C 39/C 39M: The American Society for Testing Materials, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

ASTM C 1585- 04: The American Society for Testing Materials, Método de ensayo normalizado para medir el ritmo de absorción de agua de

los hormigones de cemento
hidráulico

Guerra Mera, J. C., Howland Albear, J. J., & Castañeda Valdés, A. (2018). Primeras experiencias en el desempeño por durabilidad de un hormigón antes de usarlo en el perfil costero de Manabí, Ecuador. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 48(1), 27-40. Recuperado a partir de <https://revista.cnic.edu.cu/index.php/RevQuim/article/view/122>

Guerra-Mera, J. C., Puig-Martínez, R., Castañeda-Valdés, A., & Baque-Campozano, B. P. (2023). Estado del arte sobre durabilidad de estructuras de hormigón armado en perfiles costeros. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*. ISSN: 2737-6249., 6(11), 2-20. <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0080>

Hernández, E. (2017). Construcción durable-Una visión de futuro para

Nicaragua. *Arquitectura +*, 2(4), 8-12. <https://doi.org/10.5377/arquitectura.v2i4.9139>

Hernández, E. (2021). Efecto del agregado grueso triturado en las propiedades del concreto. *Nexo*, 34(5), 55-63. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i05.13109>.

Solís, R. & Moreno, E. (2006). Análisis de la porosidad del concreto con

agregado calizo. *Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela*, 21 (3), 58-68. Recuperado de: http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652006000300004