

INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO EN MORTEROS CEMENTÍCEOS DE ALTA RESISTENCIA

Señas, L.¹; Priano, C.¹; y Marfil, S.^{2, 3}

¹ Dpto. de Ingeniería Universidad Nacional del Sur. Av. Alem 1253.

8000 Bahía Blanca. Te: 0291-4595101. Int 3223.

email: cpriano@uns.edu.ar

² Dpto. de Geología UNS San Juan 670. 8000 Bahía Blanca.

0291-4595101 interno 3021.

³ CGAMA CIC-UNS. email: smarfil@uns.edu.ar

Palabras claves: mortero, resistencia, arena.

Resumen

En el presente trabajo se realizó un estudio comparativo de la influencia de la composición mineralógica, la forma y textura de los granos del agregado fino, en el desempeño mecánico de morteros de alta resistencia.

Para ello se elaboraron morteros con un mismo tipo de cemento y se utilizaron seis arenas, cuatro naturales y dos de trituración, con una misma distribución granulométrica.

Se estudiaron las propiedades físicas de las arenas: absorción, forma, textura, densidad y porcentaje de vacíos. Se utilizó estereomicroscopio para determinar la composición petrográfico – mineralógica y morfología de cada una.

Para obtener morteros de alta resistencia, se proyectaron mezclas con relación agua/cemento 0,35 y se moldearon probetas prismáticas de 4x4x16 cm, para cada una de las arenas estudiadas. La determinación de la resistencia a flexión y compresión de los morteros se realizó a tres edades diferentes: 3, 7 y 28 días.

Si bien con todas las arenas estudiadas se obtuvieron morteros de alta resistencia, los resultados obtenidos presentaron diferencias para todas las edades de ensayo.

1. Introducción

La resistencia de un hormigón está determinada por las características del mortero, los agregados y la zona de interfase. Para una misma calidad de mortero, la diferente forma, textura y mineralogía de los agregados inciden en la resistencia final del hormigón. En el caso particular de los hormigones de elevada resistencia y/o alta performance, los agregados tienen un rol preponderante [1]. En estos hormigones, el tipo de agregado puede constituir un límite en el nivel de resistencia a alcanzar debido a la resistencia propia de la roca y a la adherencia que pueda desarrollar.

La interfaz matriz-agregado adquiere un rol preeminente sobre el mecanismo de falla y el comportamiento del mortero. Con ciertos agregados la resistencia del material compuesto alcanza el 95% o más de la resistencia de la fase continua. El tipo de agregado produce modificaciones en las superficies de fractura con respecto a los hormigones o morteros convencionales [2].

El mortero está constituido mayoritariamente por agregado pétreo, aproximadamente las tres cuartas partes de su volumen. Este esqueleto granular corresponde al agregado fino o arena, cuyas características controlan muchas de las propiedades del material. Para la elaboración de morteros de alto rendimiento es necesario que la arena reúna ciertas condiciones como por ejemplo, propiedades de forma, textura superficial, distribución de tamaños, mineralogía.

Algunas de estas características están determinadas principalmente por la historia geológica de la roca madre de la cual provienen. Las arenas naturales tienden a ser de forma redondeada y textura lisa debido al efecto de la abrasión que han sufrido. En cambio el mecanismo de trituración produce partículas angulosas y rugosas. Estas últimas generan un grado de empaquetamiento de menor densidad comparadas con las primeras [3]. Además, el efecto del transporte en las arenas naturales, produce la eliminación de la mayoría de los minerales débiles [4].

Los áridos, en particular las arenas, poseen diferentes propiedades físicas macroscópicas como cristalinidad, densidad, forma, dimensión, redondez, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, textura, módulo elástico, conductividad térmica, etc.; además de propiedades químicas tales como solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, heladicidad, etc. [5]. Estas características influyen en forma notable sobre las propiedades de los morteros y hormigones que con ellas se fabriquen, tanto en estado fresco como endurecido.

La forma angular y la textura superficial rugosa de las partículas de una arena de trituración, condiciona la trabajabilidad de las mezclas e inciden directamente en la relación agua/cemento. La estructura de poros de un mortero queda definida por las cualidades de la pasta de cemento hidratada y de la interfase pasta-agregado. La fricción entre partículas de una arena triturada es superior a la de una arena natural, influyendo esta característica sobre la trabajabilidad de las mezclas. Por otro lado, la necesidad de aumentar el contenido de pasta influye sobre la resistencia y la durabilidad de los hormigones

[6]. La forma y textura superficial de las partículas del agregado fino son las principales responsables de la fricción mecánica interna de morteros y hormigones, y en consecuencia, de la demanda de agua o del contenido de pasta necesaria para obtener una mezcla plástica [7].

Es frecuente la utilización de la palabra “carbonática”, “silíceo” y “cuarcítico” para calificar a las arenas utilizadas como agregados para morteros. El primero se refiere a un material constituido por carbonatos (principalmente de calcio). Una arena “silíceo” contiene, además de cuarzo, minerales tales como feldespatos, olivinos, piroxenos, anfíboles, micas y otros minerales que constituyen las rocas ígneas, y si bien son todos silicatos, el porcentaje de sílice que contienen es variable. También pueden participar en la composición del agregado fino natural, partículas denominadas comúnmente “líticas”, que corresponden a fragmentos de rocas de composición y origen variable. Por último se denomina agregado “cuarcítico” cuando su contenido de cuarzo es elevado.

Respecto a la forma en los agregados naturales puede variar de irregular a redondeada dependiendo de la madurez del sedimento. El material extraído muy cerca de la fuente de origen, ha sido poco rodado y además de conservar su composición, preserva las formas originales irregulares. A medida que aumenta el transporte (por ejemplo cerca de la zona de desembocadura en el caso de los ríos) se incrementará el porcentaje de granos redondeados. Esta madurez modificará también la composición petrográfico-mineralógica ya que cerca del área de origen, la composición será similar a la de la roca madre, y a medida que aumenta el transporte disminuirá el contenido de los minerales friables, aumentando los porcentajes de minerales resistentes, especialmente de cuarzo [8].

El objetivo del presente trabajo es determinar la influencia de las características de seis arenas (naturales y de trituración), sobre el desempeño mecánico de morteros de alta resistencia, elaborados con un mismo cemento.

2. Materiales y métodos

Se utilizaron seis arenas: tres cuarcíticas denominadas “A”, “T” (provenientes desde el exterior de Argentina) y “R” (de origen nacional), dos graníticas, denominadas “P” y “O” y una silíceo de uso corriente en el mercado en la zona de Bahía Blanca, denominada “F”, proveniente de un yacimiento cercano a la ciudad. Cuatro de las arenas son de origen natural (A, T, R y F) y dos de trituración (P y O). La granulometría de las seis correspondió a la indicada en la norma IRAM 1633 [9].

Se trabajó con un estereomicroscopio trinocular Olympus SZ-CTV, con cámara de video y programas computarizados para el tratamiento de imágenes para determinar la composición y morfología de las arenas.

Se determinó la densidad a granel y porcentaje de vacíos (IRAM 1548) [10], densidad relativa real y aparente, y absorción de agua (IRAM 1520) [11].

Los morteros se elaboraron con agua desmineralizada y cemento proveniente de una fábrica de la provincia

de Buenos Aires, caratulado como portland normal CPN40 (ARS). Se dosificaron mezclas con relación agua/cemento: 0,35 y se moldearon tres juegos de tres probetas prismáticas de 4x4x16 cm para cada una de las arenas estudiadas, según la metodología indicada en la norma IRAM 1622 [12]. Los ensayos de flexión y compresión se realizaron a la edad de 3; 7 y 28 días.

3. Resultados y discusión

3.1 Agregados

3.1.1 Composición mineralógica

Arena A: La muestra está constituida principalmente por cuarzo (84%) con cantidades subordinadas de areniscas (12%). Se determinó escasa cantidad de calcedonia en la fracción más gruesa (retenido tamiz N°18) (0,9%) y de rocas metamórficas (3%). Hay un cambio muy notable en la composición, forma y color de las partículas a partir del retenido en el tamiz N° 60 donde aparecen granos de cuarzo muy transparentes y angulosos que pasan a integrar el total de la muestra en el retenido y pasante tamiz N° 100. En el material retenido en los tamices N° 18, 30 y 60 predominan las formas redondeadas y la mayoría de las partículas tienen tinción superficial por óxidos e hidróxidos de hierro. Las fracciones más finas están constituidas por cuarzo (98%) con muy escasa cantidad de areniscas. Los granos son transparentes y predominan las formas irregulares equidimensionales. No hay tinción.

Arena T: Está constituida por 90% de cuarzo, 8% de feldespato y 2% de micas (biotita y muscovita con predominio de la segunda sobre la primera). Se identificó muy escasa cantidad de minerales opacos y areniscas con cemento ferruginoso, aunque su participación en la muestra total es menor del 0,1%. Algunas partículas de cuarzo presentan tinción superficial por óxidos de hierro.

Arena R: El material está constituido en forma predominante por cuarzo (68%), con cantidades subordinadas de rocas graníticas (10%), areniscas cuarzosas (13%), feldespato (7%) y minerales opacos (1%). Se identificó muy escasa cantidad de rocas metamórficas, calcedonia y terrones blandos aunque su participación en la muestra total es insignificante (0,1%).

Arena F: En la composición de la arena predominan las rocas volcánicas 57% (básicas y ácidas). En forma subordinada se identificó cuarzo 20%, valvas carbonáticas 13% y en menor proporción, minerales opacos 5%, feldespato 3% y vidrio volcánico 2%.

Arena P: El agregado es una arena de trituración homogénea, constituida en un 100% por una roca granítica. Presenta moderada cantidad de material particulado fino de la misma litología, adherido a la superficie de los fragmentos, generado por el proceso de trituración. La textura de la roca es granular hipidiomórfica. Litológicamente está constituida por ortosa de hábito subhedral, levemente argilizada,

asociada a menor cantidad de oligoclasa. El cuarzo, en su mayoría es de hábito anhedral. Se dispone en los espacios intercrystalinos de los feldespatos. También se presenta en agregados microgranulares, anhedrales, con textura sacaroide, ocupando espacios irregulares de la masa rocosa. El mafito es biotita, con menos cantidad de hornblenda. Asociados a estos minerales se presentan óxidos de hierro (principalmente hematita). Los minerales accesorios más comunes son apatito y en menor proporción titanita. La roca se califica como granito.

Arena O: La arena está constituida por partículas de una roca granítica heterogénea. El 63% de la muestra son fragmentos ricos en feldespato potásico (principalmente ortosa con microclino subordinado), de hábito subhedral, con oligoclasa asociada. En los espacios intercrystalinos cristalizó cuarzo anhedral. El mafito más abundante es hornblenda. La textura de la roca es granoblástica. El 35% son partículas de color gris, granulares, con abundante oligoclasa y ortosa subordinada. El mineral máfico característico es biotita. El 2% restante son fragmentos monominerales de cuarzo. Todo el conjunto constituye un mismo tipo de roca que se califica como migmatita.

3.1.2 Morfología

Arena A: Está constituida por 63% de partículas redondeadas; 37% irregulares equidimensionales y <1% irregulares planares (Figura 1a).

Arena T: Predominan las formas irregulares equidimensionales (89%), el 8% son redondeadas y el 3% restante irregulares planares (Figura 1b).

Arena R: Está constituida por 73% de partículas redondeadas; 24% irregulares equidimensionales y 3% irregulares planares (Figura 1c).

Arena F: El 69% de los granos son irregulares equidimensionales; el 20% redondeados y el 11% irregulares planares (Figura 1d).

Arena P: El 91% de los granos son irregulares equidimensionales y el 9% irregulares planares (Figura 1e).

Arena O: El 92% de los granos son irregulares equidimensionales y el 8% irregulares planares (Figura 1f).

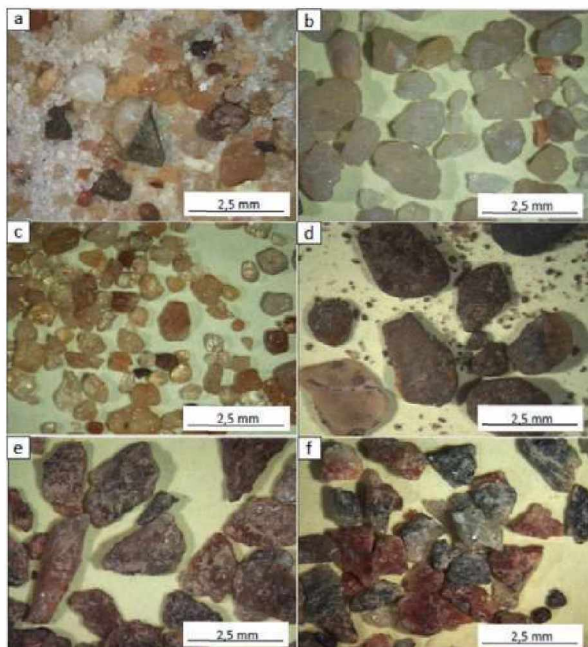


Figura 1: a) arena A; b) arena T; c) arena R; d) arena F; e) arena P; f) arena O.

3.1.3 Ensayos físicos

Los resultados de densidad a granel, o peso unitario, en estado seco y compactado ($PU_{c,s}$), porcentaje de vacíos (Ev), densidad relativa en estado seco (d_1), densidad relativa aparente (d_3) y absorción de agua (A), se detallan en la tabla 1.

El valor del peso unitario es función de factores intrínsecos al material, tales como, densidad, granulometría, textura y forma. La variabilidad de la textura y la forma hace que en la arena F se logre un grado de acomodamiento mayor, lo que se refleja en el resultado obtenido para la densidad a granel. Lo indicado anteriormente explica también el menor porcentaje de vacíos que tiene la arena F. La mayor absorción determinada en dicha arena se adjudica al elevado porcentaje de rocas volcánicas alteradas que presenta.

Arena	"A"	"T"	"R"	"F"	"P"	"O"
$PU_{c,s}$ (kg/m ³)	1760	1630	1750	1810	1730	1670
Ev (%)	31	38	35	30	33	33
d_1	2,55	2,63	2,67	2,58	2,60	2,50
d_3	2,59	2,66	2,73	2,67	2,64	2,54
A (%)	0,6	0,5	0,8	1,1	0,5	0,7

Tabla 1. Resultados ensayos físicos de las diferentes arenas.

Los resultados de los ensayos a flexión y compresión para todos los morteros, a las edades de 3, 7 y 28 días, se detallan en la tabla 2 y en las figuras 2 y 3.

Morteros	Edad (días)	Resistencia (MPa)	
		Compresión f_c	Flexión f_t
A	3	50,2	7,5
	7	59,1	9,5
	28	67,3	10,4
T	3	47,2	7,3
	7	58,3	9,1
	28	71,7	11,1
R	3	43,0	7,2
	7	55,8	9,0
	28	61,4	9,8
F	3	48,5	7,6
	7	58,1	9,3
	28	71,3	10,7
O	3	51,5	9,1
	7	65,6	10,6
	28	73,2	12,4
P	3	49,5	9,1
	7	58,6	10,3
	28	65,2	11,7

Tabla 2. Resistencias a compresión y flexión para las diferentes edades.

Los valores de resistencia a flexión y compresión, para todas las edades de ensayo, no fueron similares. Los mayores valores se presentaron en los morteros elaborados con la arena O, mientras que con la arena R se obtuvieron los menores, con diferencias del orden del 16% en compresión y del 21% en flexión.

La resistencia a compresión y flexión de los morteros elaborados con las arenas graníticas P y O, presentaron diferencias a pesar que tienen una composición mineralógica similar, aunque se trata de rocas de diferente origen. P es una roca ígnea granítica y O es una migmatita. Esta última es una roca más compleja, de origen metamórfico formada por la fusión parcial de una roca silicatada de composición variable. Los minerales que la constituyen se funden a distinta temperatura lo que genera sectores claros ricos en cuarzo y feldespato y sectores oscuros constituidos por los minerales más resistentes.

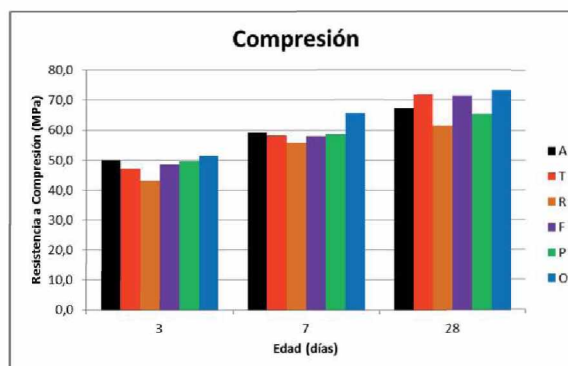


Figura 2. Resistencia a compresión para las diferentes edades de ensayo.

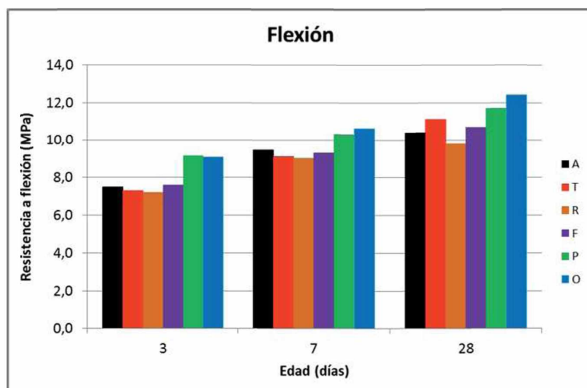


Figura 3. Resistencia a flexión para las diferentes edades de ensayo.

Lo mismo sucedió con las arenas cuarcíticas A, T y R. Las características de forma y textura de las arenas hicieron que la demanda de pasta y la estructura de la interfase influyeran en el resultado final. La arena R es la que presenta mayor cantidad de partículas redondeadas y menor de irregulares equidimensionales. El mayor porcentaje de vacíos se dio en la arena T que a pesar de ser natural, tiene un porcentaje de partículas de forma irregular equidimensional similar a las arenas de trituración. Respecto a la composición mineralógica de las arenas cuarcíticas, la arena R es la que tiene menor contenido de cuarzo.

Los morteros elaborados con la arena F, de origen silíceo, presentaron valores de resistencia a la compresión, a la edad de 28 días, similares a los de las arenas T y O, a pesar de tener diferente composición petrográfico-mineralógica. La resistencia de un mortero es la combinación de las resistencias del esqueleto granular, la pasta ubicada en los espacios vacíos y el vínculo de interfase. El porcentaje de vacíos es importante debido a la cantidad de pasta necesaria para rellenarlos. Cuando ésta es de alta resistencia, tiene mayor influencia en el resultado final. Cuando la resistencia de la pasta es baja, la menor cantidad de vacíos hace que en el resultado final influya notoriamente la mayor cantidad de partículas.

4. Conclusiones

- Los valores de resistencia mecánica de todos los morteros estudiados y a todas las edades ensayadas, se vieron sensiblemente influenciados por la composición petrográfico - mineralógica, la forma, la textura y el grado de empacamiento de los clastos.
- El menor valor de resistencia a compresión y a flexión, para todas las edades, correspondió a una arena natural cuarcítica con el mayor porcentaje de partículas redondeadas y el menor contenido de cuarzo.
- El mayor valor de resistencia a compresión y a flexión, para todas las edades, se dio en una arena de trituración migmatítica con el mayor porcentaje de partículas irregulares equidimensionales.

Referencias

- [1] A. Kilic, C. Atis, A. Teymen, O. Karahan, F. Özcan, C. Bilim, M. Özdemir. The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete. *Cement and Concrete Composites*, vol. 30, 290-296, 2008.
- [2] G. Giaccio, R. Zerbino. Hormigones de alta performance. Hormigones especiales. Ed. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 354pp, 2004.
- [3] D. Cortes, H. Kim, A. Palomino, J. Santamarina. Rheological and mechanical properties of mortars prepared with natural and manufactured sands. *Cement and Concrete Research* vol. 38, 1142-1147, 2008.
- [4] M. Westerholm, B. Lagerblad, J. Silfwerbrand, E. Forssberg. Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars. *Cement and Concrete Composites*, vol. 30, 274-282, 2007.
- [5] C. López Jimeno. Áridos: Manual de prospección, explotación y aplicaciones. U.D. Proyectos, E.T.S.I. Minas. Universidad Politécnica de Madrid, 2003.
- [6] O. Cabrera, H. Donza, L. Traversa. Influencia de la forma y textura superficial del agregado fino sobre la succión capilar del hormigón. 16ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 195-202, Mendoza, 2006.
- [7] O. Cabrera, L. Traversa, N. Ortega. Effect of crushed sand on mortar and concrete rheology. *Materiales de Construcción*, vol. 61 (303), 401-416, 2011.
- [8] F. Pettijohn. Rocas Sedimentarias. Editorial Universitaria de Buenos Aires. EUDEBA. 731pp, 1963.
- [9] IRAM 1633. Arena normalizada. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2011.
- [10] IRAM 1548. Agregados. Determinación de la densidad a granel y de los espacios vacíos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2003.
- [11] IRAM 1520. Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2002.
- [12] IRAM 1622. Cemento pòrtland. Determinación de resistencias mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2006.