

DEFINICIÓN EMPÍRICA DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO EFECTIVA EN MORTEROS CON ÁRIDO RECICLADO EN FUNCIÓN DE LA ABSORCIÓN

¹*Velay-Lizancos M^a Mirian; ¹Martínez-Lage Isabel; ¹Vázquez-Herrero Cristina;
¹Vázquez-Burgo Pablo

¹Universidad de A Coruña. Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y puertos
Campus de Elviña S/N 15071. A Coruña - España
e-mail: *m.velay@udc.es

RESUMEN

La utilización de áridos reciclados procedentes de construcción y demolición, para la fabricación de morteros y hormigones es un tema de gran interés desde el punto de vista de la construcción sostenible puesto que, además de disminuir la explotación de las canteras al sustituir el árido natural por árido reciclado, también se reduce el volumen de residuos depositados en vertederos.

Para poder estudiar la influencia que tiene el uso de árido reciclado en la resistencia de los hormigones y morteros, es necesario que la relación agua/cemento efectiva sea a misma en todas las mezclas comparadas,

La relación agua/cemento efectiva se define como la cantidad de agua disponible que reacciona con el cemento de la mezcla. Las discrepancias entre autores surgen en la definición de cuál es esa "cantidad de agua disponible", La cantidad de agua disponible que reacciona con el cemento depende de la absorción de los áridos

Por ello, en esta investigación, se desarrolla un estudio experimental para hallar de forma empírica la cantidad de agua que reacciona con el cemento en varias mezclas de mortero con distintos porcentajes de sustitución de árido reciclado, en función de la absorción de los áridos. Posteriormente se analiza qué relaciones existen entre la cantidad de agua que no reacciona con el cemento y el agua total de absorción de los áridos de cada una de las mezclas. Finalmente se propone una definición de la relación agua/cemento efectiva en función de la absorción basada en este estudio empírico.

Keywords: Árido reciclado, ratio agua/cemento efectiva, RCDs, absorción, mortero.

1.- Introducción

El término “relación agua/cemento efectiva” tiene una clara definición: “La cantidad total de agua que reacciona con el cemento, dividida entre la cantidad de cemento “. La complicación surge a la hora de definir “la cantidad de agua que reacciona con el cemento”. La presencia de los áridos, que absorben parte del agua, hace que parte del agua no pueda reaccionar con el cemento y por tanto, la relación a/c efectiva es menor que la relación a/c real.

En el caso de la utilización de áridos reciclados, esta disminución de la relación a/c efectiva es considerable, debido a la elevada absorción de los áridos reciclados y hay que tenerla en cuenta. Si fuese posible hallar la cantidad de agua que no reacciona debido a la absorción de los áridos, calcular la relación a/c efectiva sería algo inmediato.

La utilización de áridos reciclados procedentes de construcción y demolición, para la fabricación de morteros y hormigones es un tema de gran interés desde el punto de vista de la construcción sostenible puesto que, además de disminuir la explotación de las canteras al sustituir el árido natural por árido reciclado, también se reduce el volumen de residuos depositados en vertederos. Una forma de estudiar la influencia de los áridos reciclados en la resistencia de morteros y hormigones es ensayar probetas fabricadas con distintos porcentajes de sustitución de árido reciclado y compararlas con las obtenidas con la dosificación de referencia con el 0% de sustitución de árido reciclado, es decir, la de mortero o hormigón convencional. Pero para que estos morteros u hormigones sean comparables, es necesario que, el único factor que varíe en la dosificación sea el porcentaje de sustitución de árido reciclado. Como es sabido, la relación a/c, para ser más concretos, la relación a/c efectiva, influye en los resultados de resistencias.

Para poder comparar hormigones o morteros con distintos porcentajes de sustitución, es necesario que la relación a/c efectiva no varíe y, por tanto, no sea una variable más a tener en cuenta.

Por ello, es de vital importancia saber cuál es la relación a/c efectiva en función de la absorción de los áridos, de modo que se pueda hacer las correcciones necesarias para que se cumpla la igualdad de la relación a/c entre las muestras que se deseen comparar.

Las discrepancias surgen a la hora de definir la cantidad de agua que absorben los áridos reciclados y que por lo tanto no está disponible para reaccionar con el cemento. Algunos autores recomiendan presaturar los áridos [1, 2, 3, 4], otros sumergirlos en agua durante 30 minutos [5] y otros durante 10 [6, 7] para que no absorban más agua. Entre los autores que recomiendan añadir más agua durante el amasado de hormigón tampoco existe un consenso sobre la cantidad, así algunos indican que lo mejor es añadir el 100% de la capacidad de absorción [8], otros el 90% [9, 10], otros el 85% [11], otros el 80% [12] y otros el 70% [13].

2.- Objetivo del estudio

El objeto de este estudio es obtener una relación entre la absorción de los áridos y el ratio a/c efectiva basado en un desarrollo experimental mediante la búsqueda de relaciones entre el ratio a/c y las frecuencias de microondas para morteros cuyos áridos tienen una absorción distinta, consiguiendo así una definición del ratio a/c efectivo en función de la absorción de los áridos utilizados para la fabricación de morteros, ya que, como se ha expuesto anteriormente, existen discrepancias entre autores sobre cómo influye la absorción de los áridos reciclados en el ratio a/c efectiva y por tanto, en la definición de la corrección del agua para conseguir dosificaciones con distinto porcentaje de sustitución de árido reciclado con el mismo ratio agua/cemento.

Para poder comparar los resultados de resistencias de morteros con distintos porcentajes de sustitución de árido reciclado y poder determinar cuál es la influencia de los áridos reciclados en las resistencias es necesario que todas las dosificaciones tengan el mismo ratio agua/cemento; ya que, de lo contrario, este factor influiría en las resistencias y no se podría decir que las diferencias de resistencias son debidas únicamente por el incremento de árido reciclado. Cabe señalar que el obtener una misma relación a/c efectiva no es equivalente a obtener una misma consistencia de la mezcla.

3.- Bases del estudio y metodología

Se sabe que la relación la cantidad de agua que reacciona con el cemento en una mezcla está acotada entre la cantidad de agua total añadida y la cantidad de agua añadida menos la cantidad de agua que los áridos de la mezcla pueden absorber. Es decir:

$$\text{Agua que reacciona} = \text{agua añadida} - \alpha * \text{capacidad de absorción de los áridos} \quad (1)$$

Siendo α un valor entre cero y uno. Si α tomase el valor cero se estaría asumiendo que todo el agua añadida está disponible para reaccionar con el cemento. Si α tomase el valor 1 se estaría tomando como verdadero la suposición de que todo el agua que pueden absorber los áridos es absorbida y por tanto, no está disponible para reaccionar con el cemento, es decir, sería equivalente a suponer que para tener una misma relación a/c entre dos morteros u hormigones con distinto porcentaje de sustitución de árido reciclado, sería necesario hacer una corrección aumentando el agua en una cantidad igual al agua total de absorción (corrección del 100% de la absorción de los áridos reciclados)

Ya que la cantidad de cemento no varía, si se divide la expresión anterior entre la cantidad de cemento, resulta la siguiente fórmula:

$$a/c \text{ efectiva} = a/c \text{ real} - \alpha * (\text{capacidad de absorción} / \text{cemento}) \quad (2)$$

Por otra parte, existe una relación entre la frecuencia de microondas y el ratio a/c, de hecho, existe un instrumento llamado "cementómetro" que calcula la relación a/c, previa calibración, mediante la relación entre el ratio a/c y la frecuencia de microondas. Este aparato está calibrado y diseñado para medir relaciones a/c reales para determinados tipos de cemento y utilizando áridos naturales (cuya variación de absorción es mínima, casi depreciable y, por tanto, la relación a/c real y la relación a/c efectiva es prácticamente la misma). Basándose en la existencia de una relación desconocida entre la frecuencia de microondas y el ratio a/c efectiva se desarrolla la primera parte de este estudio.

Si existiese un árido natural con absorción del 0%, todo el agua añadida reaccionaría con el cemento, es decir, la relación a/c real sería la misma que la relación a/c efectiva. Midiendo la frecuencia que corresponde a varios ratios a/c efectiva de ese mortero fabricado con árido de absorción nula, se podría hallar una función que proporcionase el valor de la relación a/c efectiva según el valor de frecuencia medido. Esa expresión que hallaría la relación a/c efectiva en función de la frecuencia medida.

El siguiente paso sería calcular la relación a/c efectiva utilizando la expresión anterior en morteros cuyas absorciones fuesen variando; por ejemplo, manteniendo la dosificación y haciendo únicamente sustituciones de árido natural por árido reciclado.

Como no se dispone de un árido natural con absorción cero, no se puede hallar la curva que relacione frecuencia con ratio a/c efectiva, pero sí se puede hallar un estrecho huso que en el que se sabe que se hallará dicha curva de correlación, como se expondrá en los siguientes párrafos

Se sabe que la relación a/c efectiva está acotada el valor de a/c real (sin tener en cuenta la influencia de la absorción de los áridos) y un valor mínimo del ratio a/c . Ese “valor mínimo del a/c ” es el resultante de tomar como hipótesis que toda el agua que podrían absorber los áridos, es absorbida y, por tanto, no reacciona con el cemento, es decir, se añade la cantidad de agua que se utiliza para el cálculo del ratio a/c más el agua de absorción de los áridos.

$$a/c \text{ efectiva} = (a/c \text{ mínima}, a/c \text{ real})$$

Utilizando un árido natural, con una absorción baja, se puede hallar un estrecho huso, calculando las curvas que relacionan a/c con la frecuencia; una de las curvas relaciona a/c real con frecuencia y la otra curva relaciona a/c corrigiendo agua de absorción. El ratio a/c efectivo estará entre dichas curvas. De este modo, para cada frecuencia, se acota en ratio a/c efectiva correspondiente a dicha frecuencia, en un pequeño intervalo.

En la siguiente gráfica (Fig. 1) se muestra el huso de a/c efectiva según la frecuencia medida en mortero fresco, utilizando en la mezcla áridos naturales secos, con baja capacidad de absorción.

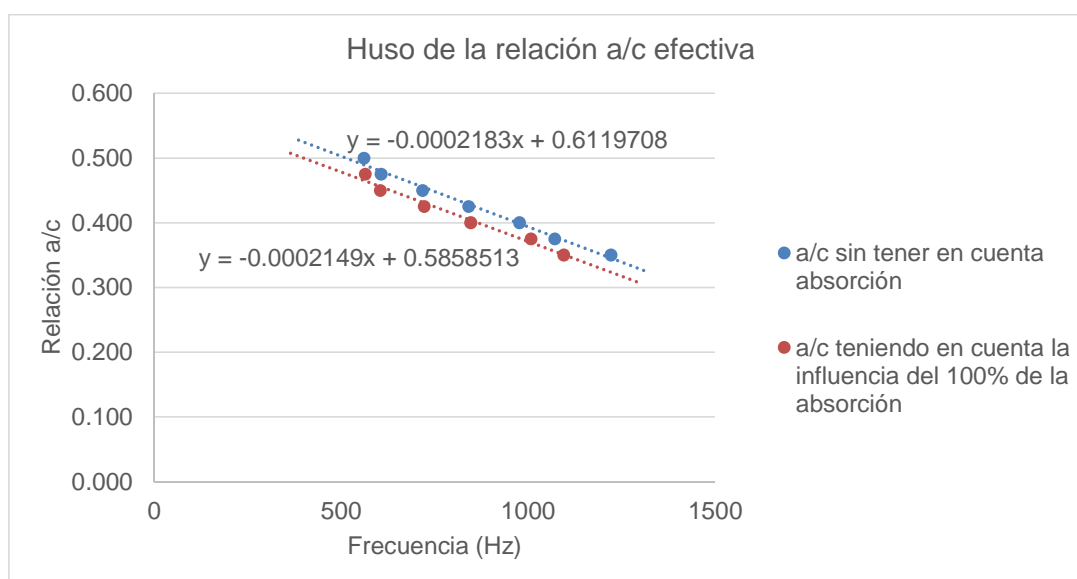


Fig. 1 “Huso de ratio a/c efectiva en función de la frecuencia”.

Para poder hallar que existe entre el ratio a/c efectiva y la absorción, se estudian morteros con igual dosificación, variando únicamente el porcentaje de árido reciclado que sustituye al árido natural. De este modo se obtendrán morteros cuyos áridos tienen una capacidad de absorción distinta.

Este estudio tiene como objetivo hallar una expresión que estime la relación a/c efectiva en función de la absorción de los áridos o, dicho de otro modo, la influencia de la absorción de los áridos en la relación a/c efectiva.

Para conseguirlo, una vez calculados los husos de estimación del ratio a/c efectivo para un mortero de referencia (Fig. 1), la metodología será la siguiente:

- Se ensayarán amasarán morteros con distintos porcentajes de sustitución. Para cada uno de ellos, se medirá las frecuencias que corresponden a varias relaciones a/c.
- Utilizando las expresiones de estimación de la relación a/c efectiva del huso, hallaremos, para todas las relaciones a/c reales de cada dosificación, qué relación a/c efectiva máxima y mínima le corresponden. Es decir, para cada uno de los valores de la relación a/c real (de 0.35 a 0.65 con incrementos de 0.05) de cada una de las dosificaciones, se obtiene un intervalo de la relación a/c efectiva correspondiente. Es decir, para cada valor de a/c real tendremos un valor de a/c efectiva mínimo y un valor de a/c máxima.
- Otro modo de calcular la relación a/c efectiva es mediante la fórmula 2, que recordamos a continuación:

$$a/c \text{ efectiva} = a/c \text{ real} - \alpha * (\text{capacidad de absorción} / \text{cemento}) \quad (2)$$

- Tomando como cierto el valor de la cota inferior de a/c para cada relación a/c de cada mezcla (y poniendo en cada mezcla su correspondiente capacidad de absorción), se calcula mediante mínimos cuadrados, el valor de α que minimiza el error cuadrático medio de las estimaciones de a/c efectiva mediante la fórmula 2.
- Se repite dicho proceso, tomando como valor real de la relación a/c efectiva los valores calculados con el huso superior. Se calcula el α correspondiente que minimiza el error cuadrático medio que exista entre los valores calculados con la fórmula 2 y los valores hallados experimentalmente con las mediciones de frecuencia y usando el límite superior del huso.

4.-Desarrollo de la campaña experimental y análisis de resultados

Una vez hallados el huso que correlaciona las frecuencias con la relación a/c efectiva, se estudian morteros con sustituciones de árido natural por árido reciclado del 25%, 50%, 75% y 100% y con una dosificación cemento/arena de 1:3, por lo que las cantidades de cemento de arena natural y de arena reciclada son las recogidas en la tabla siguiente:

	Porcentaje de sustitución				
	0%	25%	50%	75%	100%
Cemento (g)	450	450	450	450	450
Arena natural (g)	1350	1012.5	675	337.5	---
Arena reciclada (g)	---	337.5	675	1012.5	1350

Tabla 1 "Dosificaciones utilizadas"

Todos los áridos se añadirán secos (con humedad cero)

El árido natural utilizado tiene una absorción de 0.19 % y el árido reciclado tiene una absorción de 6.43 %.

Conforme aumenta el porcentaje de sustitución, la cantidad de agua que pueden absorber los áridos es mayor, ya que los áridos reciclados tienen una mayor absorción que los áridos naturales. En la siguiente tabla se muestra la cantidad máxima de agua que pueden absorber los áridos de cada mortero estudiado:

	Porcentaje de sustitución				
	0%	25%	50%	75%	100%
Agua para saturar arena natural (g)	2.6	1.9	1.3	0.6	0.0
Agua para saturar árido reciclado (g)	0.0	22.7	45.4	68.1	90.9
Capacidad total de absorción (g)	2.6	24.6	46.7	68.8	90.9
Capacidad de absorción total / cemento	0.006	0.062	0.117	0.172	0.227

Tabla 2 “Tabla capacidad máxima de absorción de los áridos empleados entre cemento añadido”

Para cada porcentaje de sustitución se siguen los siguientes pasos:

- Para cada dosificación se hace una amasada, dicha amasada comienza con una relación a/c real baja, entorno a un ratio a/c de 0.35 (en algunas de las dosificaciones la relación a/c real tiene que ser mayor debido a que la alta absorción de los áridos hacen que la mezcla no pueda ser homogénea, ya que no tiene el agua mínima necesaria para formar una pasta)
- Se hacen más de 12 medidas de frecuencia para esa primera relación a/c real. Se halla la frecuencia media que corresponde a cada relación a/c real.
- Se añade el agua necesaria para llegar a la siguiente relación a/c real, aumentando el ratio a/c en 0.05 y se repite la operación de hacer 12 medidas de frecuencia y hallar la media. Este proceso se repite todas las veces posibles hasta que la mezcla ya tiene un exceso de agua y está demasiado líquida; es decir, se va a medir la frecuencia media correspondiente a cada relación a/c real, desde la menor a/c real que sea medible hasta la mayor, con incrementos de 0.05. (Véase tabla 3)
- Se calcula el valor de a/c efectiva correspondiente a esa frecuencia mediante las fórmulas que acotan el huso de la relación a/c efectiva calculado anteriormente. De este modo se obtiene un intervalo entre el que se encuentra la relación a/c efectiva para cada una de esas frecuencias. A continuación, en la tabla 3 se muestran dichos valores.

	a/c real	Frecuencia media	Cota inferior de a/c efectiva	Cota superior de a/c efectiva
MORTERO CON 25% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,375	1194,25	0,33	0,35
	0,400	1056,00	0,36	0,38
	0,425	970,75	0,38	0,40
	0,450	898,50	0,39	0,42
	0,475	742,88	0,43	0,45
	0,500	649,75	0,45	0,47
	0,525	594,25	0,46	0,48
MORTERO CON 50% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,400	1197	0,33	0,35
	0,425	1177	0,33	0,36
	0,450	1095	0,35	0,37
	0,475	945	0,38	0,41
	0,500	913	0,39	0,41
	0,525	725	0,43	0,45
	0,550	621	0,45	0,48
MORTERO CON 75% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,450	1191	0,33	0,35
	0,475	1093	0,35	0,37
	0,500	1001	0,37	0,39
	0,525	911	0,39	0,41
	0,550	813	0,41	0,43
	0,575	753	0,42	0,45
	0,600	639	0,45	0,47
MORTERO CON 100% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,475	1211	0,33	0,35
	0,500	1162	0,34	0,36
	0,525	1071	0,36	0,38
	0,550	981	0,38	0,40
	0,575	899	0,39	0,42
	0,600	771	0,42	0,44
	0,625	690	0,44	0,46

Tabla 3 “Frecuencias medias medidas correspondientes a cada relación a/c real y sus correspondientes a/c efectivas estimadas mediante funciones límite del huso”

- En la Tabla 3 se muestran los valores de a/c real, frecuencia media a/c efectiva cota inferior, a/c efectiva cota superior
- Proceso de datos: En primer lugar se tratarán los datos de la cota inferior de la relación a/c. Se representan las curvas que correlacionan a/c real y a/c efectiva en su cota mínima. (Figura 1)

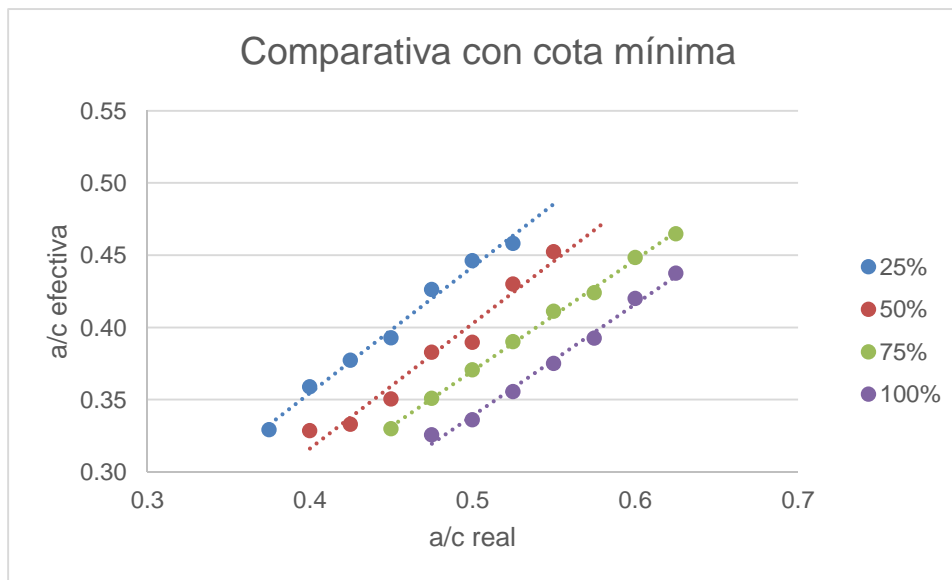


Fig. 2 “Curvas de relación a/c real frente a a/ efectiva calculada con cota inferior del huso de calibración”.

- Como se puede ver en la Figura 2, se ha obtenido una relación entre la cota inferior de la relación a/c efectiva y relación a/c real. Pero como se había apuntado anteriormente, también es posible estimar la relación a/c efectiva mediante la fórmula 2 en función de la capacidad de absorción de los áridos.

$$a/c \text{ efectiva} = a/c \text{ real} - \alpha * (\text{capacidad de absorción} / \text{cemento}) \quad (2)$$

- Puesto que sabemos cuál es el valor de la cota inferior de la relación a/c efectiva correspondiente a cada relación a/c real. Y la capacidad de absorción de cada una de las mezclas también es un dato (Véase Tabla 2), la única incógnita es el valor del parámetro α , cuyo valores estará comprendido entre 0 y 1.
- Se halla el valor de α que minimice el error cuadrático medio total de todos los valores de a/c efectiva estimados para todas las dosificaciones según la fórmula 2, según el método de mínimos cuadrados. Es decir, se busca el valor de α que haga una estimación de la relación a/c efectiva calculada en función de la absorción de los áridos (2) sea lo más próxima a la calculada experimentalmente con el límite inferior del huso que relaciona la frecuencia con la relación a/c efectiva (Fig. 1); de modo que el α hallado es el que minimiza el error cuadrático medio total de las estimaciones de a/c efectiva en función de la absorción.
- De este modo, se halla la relación que existe entre la cota inferior del ratio a/c efectivo y la absorción de los áridos, ya que, el valor de α multiplicado por cien es el porcentaje del agua de absorción que hay que añadir para corregir el agua, para obtener la misma relación a/c efectiva. El valor de α que minimiza el error cuadrático de la estimación de la cota inferior de relación a/c efectiva es 0.7775; que equivale a decir que, sería necesario hacer una corrección del a/c añadiendo al agua real un 77,75% del agua de absorción de los áridos. (Véase tabla 4)

	a/c real	Frecuencia media	Ratio a/c efectiva (Calculada con límite inferior de huso, en función de la frecuencia)	a/c efectiva estimada según absorción (Calculada con fórmula 2)	diferencia entre a/c estimada y a/c efectiva cota inferior
MORTERO CON 25% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,375	1194	0,33	0,33	-0,0021
	0,400	1056	0,36	0,35	-0,0068
	0,425	971	0,38	0,38	-0,0001
	0,450	899	0,39	0,40	0,0094
	0,475	743	0,43	0,43	0,0009
	0,500	650	0,45	0,45	0,0059
	0,525	594	0,46	0,48	0,0190
MORTERO CON 50% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,400	1197	0,33	0,31	-0,0194
	0,425	1177	0,33	0,33	0,0013
	0,450	1095	0,35	0,36	0,0087
	0,475	945	0,38	0,38	0,0014
	0,500	913	0,39	0,41	0,0196
	0,525	725	0,43	0,43	0,0042
	0,550	621	0,45	0,46	0,0068
MORTERO CON 75% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,450	1191	0,33	0,32	-0,0136
	0,475	1093	0,35	0,34	-0,0097
	0,500	1001	0,37	0,37	-0,0044
	0,525	911	0,39	0,39	0,0012
	0,550	813	0,41	0,42	0,0052
	0,575	753	0,42	0,44	0,0173
	0,600	639	0,45	0,47	0,0178
MORTERO CON 100% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,475	1211	0,33	0,30	-0,0272
	0,500	1162	0,34	0,32	-0,0127
	0,525	1071	0,36	0,35	-0,0073
	0,550	981	0,38	0,37	-0,0016
	0,575	899	0,39	0,40	0,0057
	0,600	771	0,42	0,42	0,0032
	0,625	690	0,44	0,45	0,0108
α que minimiza el error cuadrático medio	0,7775		Error cuadrático medio		0,0112

Tabla 4 “relación a/c efectiva (según frecuencia y uso inferior) comparada con ratio a/c calculada con fórmula 2 en función de la capacidad de absorción. Valor del parámetro α que minimiza el error cuadrático medio entre estos dos valores”

- A continuación se repiten los pasos de proceso de datos, pero esta vez, tomando como valores reales de ratio a/c efectivo los calculados con la función que acota superiormente del huso que relación a/c efectiva con frecuencias (Fig. 1).

- Seguidamente, se calcula el parámetro α que minimice el error cuadrático que exista entre los valores de a/c efectiva calculadas con la fórmula 2 y los valores de a/c efectiva calculados mediante la correlación con la frecuencia y utilizando la cota superior del huso.
- El valor de α que minimiza el error cuadrático total es 0.6432, es decir, una corrección del agua añadiendo un 64.32% del agua de absorción de los áridos. (Véase Fig. 3 y Tabla 5)

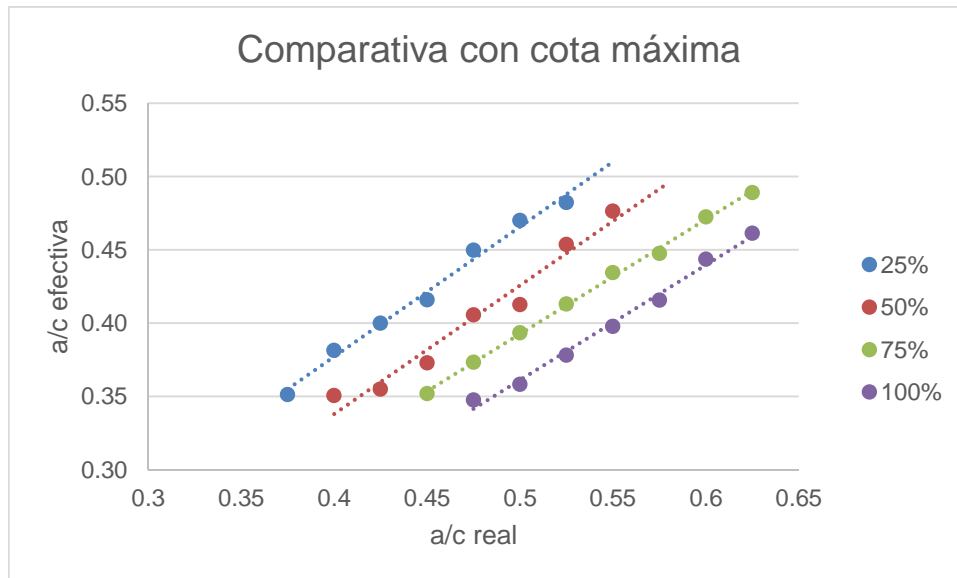


Fig. 3 “Curvas de relación a/c real frente a a/c efectiva calculada con cota superior del huso de calibración”.

	a/c real	Frecuencia media	Ratio a/c efectiva (Calculada con límite superior de huso, en función de la frecuencia)	a/c efectiva estimada según absorción (Calculada con fórmula 2)	diferencia entre a/c estimada y a/c efectiva cota superior
MORTERO CON 25% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,375	1194	0,35	0,34	-0,0159
	0,400	1056	0,38	0,36	-0,0211
	0,425	971	0,40	0,39	-0,0147
	0,450	899	0,42	0,41	-0,0054
	0,475	743	0,45	0,44	-0,0144
	0,500	650	0,47	0,46	-0,0097
	0,525	594	0,48	0,49	0,0031
MORTERO CON 50% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,400	1197	0,35	0,32	-0,0258
	0,425	1177	0,36	0,35	-0,0051
	0,450	1095	0,37	0,37	0,0020
	0,475	945	0,41	0,40	-0,0058
	0,500	913	0,41	0,42	0,0122
	0,525	725	0,45	0,45	-0,0038
	0,550	621	0,48	0,47	-0,0015
MORTERO CON 75% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,450	1191	0,35	0,34	-0,0126
	0,475	1093	0,37	0,36	-0,0090
	0,500	1001	0,39	0,39	-0,0041
	0,525	911	0,41	0,41	0,0013
	0,550	813	0,43	0,44	0,0049
	0,575	753	0,45	0,46	0,0168
	0,600	639	0,47	0,49	0,0169
MORTERO CON 100% DE SUSTITUCIÓN DE A.R.	0,475	1211	0,35	0,33	-0,0187
	0,500	1162	0,36	0,35	-0,0044
	0,525	1071	0,38	0,38	0,0007
	0,550	981	0,40	0,40	0,0061
	0,575	899	0,42	0,43	0,0132
	0,600	771	0,44	0,45	0,0102
	0,625	690	0,46	0,48	0,0176
α que minimiza el error cuadrático medio	0,6432		Error cuadrático medio		0,0119

Tabla 5 "relación a/c efectiva (según frecuencia y uso superior) comparada con ratio a/c calculada con fórmula 2 en función de la capacidad de absorción. Valor del parámetro α que minimiza el error cuadrático medio entre estos dos valores"

5.- Conclusiones

Como podemos comprobar, el coeficiente α es mayor en la expresión calculada con los datos de cota inferior de a/c efectiva. Esto es coherente con la fórmula 1 ya que a mayor α menor relación a/c efectiva resultante de dicha fórmula.

Puesto que el coeficiente de corrección α se encuentra entre 0.6432 y 0.7775, se puede afirmar que en morteros con distintas sustituciones de árido reciclado, para obtener una relación a/c efectiva igual, es necesario corregir el agua añadiendo una cantidad de agua que se encuentra entre el 64% y el 78% del agua que se necesitaría para saturar los áridos que componen la mezcla.

Por ello, se recomienda hacer la corrección añadiendo una cantidad de agua que se sitúe entre el 64% y el 78% de la capacidad de absorción de los áridos que forman parte de la mezcla. Una posible corrección sería añadir el 71% (punto medio del intervalo hallado) del agua que se necesitaría para saturar los áridos, en el caso de que se hallan añadido los áridos secos a la mezcla.

REFERENCIAS

- [1] Correia, J.R., De Brito, J., Pereira, A.S. (2006). Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 39, 169-177.
- [2] Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 (2008). Ministerio de Fomento. Madrid.
- [3] Sánchez de Juan, M. (2010). Áridos reciclados para aplicaciones de hormigón no estructural. Curso de Construcción no sostenible y reciclaje de residuos. Zaragoza.
- [4] Agrela, F., Sánchez De Juan, M., Ayuso, J., Geraldés, V.L., Jiménez, J.R. (2011). Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete. *Constr. Build. Mater.* 25, 3950-3955.
- [5] Khalaf, F.M. (2006). Using crushed clay brick as coarse aggregate in concrete. *J. Mater. Civ. Eng.* 18, 518-526.
- [6] Hansen T.C. (1992) Recycling of demolished Concrete and masonry. RILEM Report 6.
- [7] Sánchez de Juan, M. (2005). Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Tesis doctoral. Madrid.
- [8] Martínez-Lage, I., Martínez-Abella, F., Vázquez-Herrero, C., Pérez-Ordóñez, J.L. (2012). Properties of plain concrete made with mixed recycled coarse aggregate. *Constr. Build. Mater.* 37, 171-176.
- [9] Fonseca, N., de Brito, J., Evangelista, L. (2011). The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste. *Cem. Concr. Comp.* 33, 637e643.
- [10] Medina, C., Zhu, W., Howind, T., Sánchez De Rojas, M.I., Frías, M. (2014). Influence of mixed recycled aggregate on the physical-mechanical properties of recycled concrete. *J. Clean. Prod.* 68, 216-225.
- [11] Mas, B., Cladera, A. (2009). Efecto de la incorporación de árido mixto reciclado en las propiedades de hormigones no estructurales. *Hormigón y Acero.* 253, 83-93.
- [12] Mas, B., Cladera, A., Olmo, T.D., Pitarch, F. (2012). Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. *Constr. Build. Mater.* 27, 612-622.
- [13] Alaejos et al. Estudio Prenormativo sobre la utilización de los RCDs en hormigón reciclado de aplicación estructural (Proyecto RECINHOR) y Reciclado de los RCDs como áridos de hormigones estructurales (Proyecto CLEAM). Ed. IECA.