

# DETERMINACIÓN POR PROCEDIMIENTOS FÍSICO MECANICOS DE LA DOSIFICACIÓN DE AGUA EN MORTEROS MONOCAPA. ANÁLISIS PREDICTIVO DE FISURACIONES.

Pablo Luis Mayor Lobo, Dr. Arquitecto<sup>1</sup>. Francisco Hernández Olivares, Dr. Físicas<sup>2</sup>

*1 Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica. EU Arquitectura Técnica. Universidad Politécnica de Madrid.*

*2 Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. ETS Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.*

## RESUMEN

Los morteros de revestimiento monocapa tienen entre sus componentes diversos aditivos y adiciones en proporciones variables, según cada fabricante. De este modo, cada mortero monocapa puede calificarse como único.

En este artículo se presentan una serie de procedimientos de laboratorio que permiten averiguar la cantidad de agua de amasado con la que se ha elaborado un mortero, partiendo de muestras extraídas en obra. De este modo, si aparece un defecto o anomalía del mortero aplicado puede descartarse, o no, que se deba a una incorrecta dosificación por no haber seguido las recomendaciones del fabricante.

Se demuestra que la medida del Módulo de Young ultrasónico puede predecir la proporción de área fisurada que aparecerá en el mortero tras la hidratación de los conglomerantes.

## ABSTRACT

Mortars coating for external facades often contain different additives mixed up in different proportions depending on the manufacturer, so that each mortar should be considered and treated as a composite displaying specific physical characteristics.

This article aims to set up some *ad hoc* procedures that will allow determining the exact proportion of water added to a mortar. The methodology adopted will be based on a preliminary stage of sample-taking from the building site so that, given a defect in the product, it will be possible to detect defects in the mixture and also find out whether the manufacturer's specifications have been followed or not.

It is shown that there exists a close relationship between the ultrasonic Young's Modulus of each mortar and its surface cracked area after hydration.

## 1. INTRODUCCIÓN.-

Un mortero monocapa es un producto industrial constituido por cemento y/o cal, áridos, adiciones minerales y aditivos orgánicos, listo para ser amasado con agua. Una vez aplicado, proporciona un revestimiento exterior para fachadas de rápida ejecución, competitivo económicamente, limpio y duradero. En una sola capa aporta prestaciones técnicas: impermeabilidad, adherencia, resistencia, y estéticas: texturas y colores.

Se distinguen dos grandes grupos de morteros monocapa. Uno, cuya utilización comprende un acabado posterior del mortero aplicado (tirolésa, raspado, etc.); y otro, sobre el que, en fresco, se le proyecta un árido (que se denomina también piedra o china de proyectar), de mayor tamaño respecto del que contiene el propio mortero y de un color natural determinado con el que se consigue un agradable efecto estético en la fachada.

El primero de estos morteros se parece a un revoco tradicional, mientras que el segundo, una vez acabado, recuerda a un mortero u hormigón de árido lavado; las preferencias actuales de la demanda son mayores para el último de estos materiales.

Al dosificarse por métodos industriales, ofrecen una calidad controlada en fábrica. Su ejecución es rápida, se aplican en una o dos manos, con un corto plazo de espera entre ellas, con la consiguiente economía global, en particular por el menor tiempo de empleo de los andamios. No obstante, con no poca frecuencia se observan defectos y carencias, a veces a las pocas horas o días, tras su elaboración en obra y aplicación, que plantean dudas sobre las causas de los fallos observados. Los aplicadores pueden imputarlas al fabricante (producto defectuoso en origen) y viceversa (los defectos observados se deben a una mala elaboración y/o aplicación).

Esta investigación aborda este problema con el propósito de ofrecer procedimientos de laboratorio asequibles a fabricantes y aplicadores de morteros monocapa, que permitan objetivar las verdaderas causas de estos defectos, cuando eventualmente se presenten.

Evaluadas las posibles actuaciones técnicas en este sentido y su viabilidad real, se ha optado por recomendar procedimientos basados en la determinación de un parámetro esencial para la calidad del producto aplicado, en el caso de morteros, como es el de la relación agua/mortero seco que efectivamente se utilizó en su puesta en obra. Esta relación es determinante para la obtención de la calidad especificada del producto. Controla el aspecto externo, la retracción, la aparición o no de fisuras, el coeficiente absorción ligado a la porosidad abierta, la rigidez del mortero conglomerado y su densidad, entre otras características.

## 2. METODOLOGÍA.-

Se han seleccionado para su estudio un total de once productos comerciales, todos ellos evaluados por el Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja” (IETCC) y en posesión del Documento de Idoneidad Técnica (DIT)[1]. En la Tabla 1 se describen sus principales características nominales, identificándolos por una letra y el correspondiente DIT.

**Tabla 1.- Morteros monocapa comerciales ensayados. Relación agua/mortero seco recomendada por el fabricante.**

<b>PRODUCTO (REFERENCIA)</b>	<b>DESCRIPCIÓN (SEGÚN LA FICHA TÉCNICA DEL FABRICANTE)</b>	<b>RELACIÓN RECOMENDADA AGUA/MORTERO SECO (A/M %)</b>
1. A (DIT 395-25 Nov.2002)	Revestimiento monocapa continuo semiligero especialmente formulado para ser aplicado mecánicamente. Acabados: Raspado, similar a una piedra abujardada con una textura fina y rústico. Soportes: fábrica de ladrillo, enfoscados con textura rugosa y bloques de hormigón normal.	26 %
2. B (DIT 396- 25Nov. 2002)	Revestimiento monocapa continuo ligero especialmente formulado para ser aplicado mecánicamente. Acabados: Raspado fino y rústico similar al de una gota gruesa. Soportes: fábrica de ladrillo, enfoscados con textura rugosa y bloques de hormigón normal.	30 %
3. C (DIT 422-15 Oct. 2003)	Revestimiento monocapa continuo especialmente formulado para ser aplicado mecánicamente Acabados: Raspado con una textura fina y rústico planchado Soportes: fábrica de ladrillo, enfoscados con textura rugosa y bloques de hormigón normal.	20 %
4. D (DIT en tramitación))	Revestimiento monocapa continuo compuesto de cemento gris, arena silíceo y caliza; aditivos orgánicos e inorgánicos. Especialmente diseñado para su utilización en interiores y enfoscados por proyección mecánica. Soportes: fábrica de ladrillo, de bloques y muros de hormigón.	19 %

5. E (DIT en tramitación)	Revestimiento monocapa continuo compuesto de cemento gris, arena silíceas y caliza; aditivos orgánicos, inorgánicos e hidrófugos; propiedades impermeabilizantes. Especialmente diseñado para exteriores por proyección. Se puede aplicar sobre fábrica de ladrillos, de bloques y muros de hormigón.	19%
6. F (DIT en tramitación)	Revestimiento monocapa continuo compuesto de cemento blanco, cal, arenas silíceas y calizas, aditivos orgánicos, inorgánicos e hidrófugos; propiedades impermeabilizantes. Especialmente diseñado para exteriores por proyección. Soportes: fábrica de ladrillos, de bloques y muros de hormigón.	25 %
7. G (DIT en tramitación)	Revestimiento monocapa continuo compuesto de cemento blanco, cal, arenas silíceas y calizas, aditivos orgánicos, inorgánicos y otros componentes que lo hacen adecuado para interiores y enfoscados con maquina de proyectar. Soportes: fábrica de ladrillos, de bloques y muros de hormigón.	25 %
8. H (DIT en tramitación)	Revestimiento monocapa continuo compuesto de cemento blanco, cal, arenas silíceas y calizas, aditivos orgánicos, inorgánicos e hidrófugos; propiedades impermeabilizantes. Especialmente diseñado para exteriores por proyección. Colores. Soportes: fábrica de ladrillos, de bloques y muros de hormigón.	25 %
9. I (DIT 355-30Nov. 2000)	Revestimiento monocapa a base de conglomerantes hidráulicos, arenas silíceas y calizas, hidrofugantes en masa, pigmentos minerales, aditivos orgánicos e inorgánicos y microfibras. Acabado decorativo y protector del edificio. Especialmente diseñado para exteriores por proyección o aplicación manual con terminación en piedra proyectada. Soportes: fábrica de ladrillo, de bloques y muros de hormigón.	27 %
10. J (DIT 435 30 Dic. 2003)	Revestimiento monocapa continuo para la impermeabilización y decoración de todo tipo de fachadas en exteriores e interiores en muros y techos. Compuesto de cal, cemento blanco, áridos de granulometría compensada, aditivos orgánicos e inorgánicos y pigmentos minerales. Diseñado para acabados liso o raspado e incluso acabado texturado mediante la proyección de árido de cuarzo con pistola de proyección. Soportes: Cerramientos de ladrillo, bloques de hormigón, bloques de termoarcilla, bloques de hormigón celular y mampostería de piedra y de ladrillo antiguos.	26 %
11. K (DIT 356 30 Nov. 2000)	Revestimiento monocapa continuo a base de conglomerantes hidráulicos, arenas silíceas y calizas, hidrofugantes en masa, pigmentos minerales, aditivos orgánicos e inorgánicos y microfibras especiales. Decorativo y protector del edificio Especialmente diseñado para la aplicación por proyección o manual. Parcialmente endurecido admite diversos acabados (raspado, tirolesa, rústico, chafado y liso)	22 %

Se han realizado series probetas normalizadas (4x4x16 cm<sup>3</sup>) para obtener tablas y diagramas de calibración de propiedades físicas y mecánicas de cada producto según la cantidad de agua de mezcla empleada en su elaboración, por encima y por debajo de la nominal.

Además y con las mismas relaciones a/m, se han fabricado losas de 60x60x2 cm<sup>3</sup> de cada mortero en molde de madera, con anclajes por la cara no expuesta. Se ha medido el área fisurada en estado fresco tras someterlas a un ventilador (ensayo de losa Kraai modificado para morteros de revestimiento monocapa [2]).

Finalmente se ha medido la retracción en estado fresco de cada mortero, para las diferentes relaciones de a/m, utilizando una bandeja de retracción.

Las propiedades físicas y mecánicas medidas se han seleccionado en función de la facilidad para obtenerlas también a partir de muestras y testigos extraídos en obra, aunque en esta investigación todas se han medido en laboratorio a partir de la fabricación controlada de probetas de mortero.

A continuación se describen los equipos y ensayos realizados, los resultados de las medidas, discusión y conclusiones.

### 3. ENSAYOS.-

De cada producto comercial se han fabricado 7 series de 3 probetas cada una, series de relación agua/mortero que van desde la 0,15 hasta la 0,35 (0.15, 0.18, 0.22, 0.26, 0.30, 0.32, 0.35), en tanto por uno. Dimensiones de las probetas: 4x4x16 cm<sup>3</sup>.

#### 3.1. ENSAYOS DE DENSIDAD POROSIDAD Y COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

Con este tipo de ensayos se pone de manifiesto la relación que existe entre las tres propiedades mencionadas y la relación agua/mortero seco empleada. A los 28 días de estar en cámara húmeda a 20 °C y humedad relativa del 95% (Modelo C. M. 200 Ibertext) se obtiene el peso inicial en gramos, una vez estabilizadas en las condiciones del laboratorio. A continuación se introducen en estufa (Modelo P. Selecta) a 105° C hasta conseguir el peso seco. Luego se introducen en agua y se mide el peso saturado por último el peso sumergido. Estos ensayos se realizaron según Normas UNE-EN 1015-2:1999, UNE-EN 1015-10:2000, UNE-EN 1015-18:2003 en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica (EUAT) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Las formulas empleadas para obtener las propiedades físicas mencionadas han sido las siguientes:

$$d_{ap} = \frac{P_d}{V_{ap}} \quad (1)$$

$$V_{ap} = \frac{P_s - P_{ss}}{\gamma} \quad (2)$$

$$Abs.(%) = \frac{P_s - P_d}{P_d} \times 100 \quad (3)$$

$$POR_{ABIERTA} = \frac{P_s - P_d}{P_s - P_{ss}} \times 100 \quad (4)$$

Siendo:

P<sub>d</sub>=Peso desecado (g)

P<sub>s</sub>=Peso saturado (g)

P<sub>ss</sub>=Peso sumergido (g)

γ= Peso específico del líquido empleado (g/cm<sup>3</sup>)

d<sub>ap</sub>= Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

V<sub>ap</sub>= Volumen aparente (cm<sup>3</sup>)

Abs= Coeficiente de absorción en porcentaje

POR<sub>ABIERTA</sub>= Porosidad abierta en porcentaje



Figura 1. Probetas en la cámara húmeda



Figura 2. Probetas en estufa.

### 3.2. ENSAYOS DE VELOCIDAD DE ULTRASONIDOS Y MODULO DE YOUNG

Con este ensayo se pone de manifiesto la relación que existe entre la velocidad ultrasónica de un determinado mortero monocapa y la relación agua/mortero con la que ha sido fabricado. El ensayo se realizó en el Laboratorio de Materiales de EUAT. Además, a partir de estas medidas y de la densidad aparente ya medida, se obtiene el Módulo de Young dinámico.

Las formulas empleadas han sido las siguientes:

$$E = d_{ap} \cdot v^2 \quad (5)$$

$$v = \sqrt{\frac{E}{d_{ap}}} \quad (6)$$

Siendo:

E=Modulo de Young (Dinámico) (GPa)

v=Velocidad ultrasónica (m/s)

$d_{ap}$ =Densidad aparente ( $\text{kg/m}^3$ )

Equipo de ultrasonidos Modelo Ultrasonic tester E-46. IEP Control S.A. Operando a 0.5 kV.



Figura 3 Calibrado equipo ultrasonidos



Figura 4 Medición de ultrasonidos

### 3.3. ENSAYOS DE TERMOGRAVIMETRIA

La técnica de la termogravimetría consiste en obtener las variaciones de peso de una muestra cuando se la somete a la acción del calor. Para poder discriminar sobre la utilidad de esta técnica se han hecho tres series sobre cada uno de los productos ensayados. 1ª serie: la amasada tiene una relación agua/mortero por encima de la recomendada por el fabricante; 2ª serie: la amasada tiene una relación agua /mortero que coincide con la que aparece en la ficha técnica del producto; 3ª serie: la amasada tiene una relación agua/mortero por debajo de la recomendada por el fabricante.

De todos estos productos se han hecho tres series de 14 probetas cada una, de dimensiones  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ , que se corresponden con las tres dosificaciones que se han realizado para cada producto.

Tras curado en cámara húmeda durante 7 días se pesan las 14 probetas de cada serie en condiciones de laboratorio: peso inicial. A continuación se introducen en un horno, marca Hobersal, modelo HD-230, y se ajusta la temperatura a  $100^\circ \text{C}$ ; una vez conseguida se mantiene durante 30 minutos, se sacan dos probetas y se pesan; se incrementa la temperatura del horno hasta  $200^\circ \text{C}$ ; una vez conseguida se mantiene durante 30 minutos y se extraen otras dos probetas, pesándolas a continuación, y así sucesivamente hasta llegar a tener solo 2 probetas en el horno que se mantienen a  $700^\circ \text{C}$  durante 30 minutos y se pesan.

Por cada serie se confecciona una tabla que relaciona la pérdida de peso con la temperatura. De nuevo, los ensayos se han realizado en el Laboratorio de Materiales de la EUAT de la UPM

### 3.4. ENSAYOS CON BANDEJA DE RETRACCIÓN

Tienen por objeto medir los movimientos que sufre el mortero durante el periodo plástico, primeras 24 horas desde su elaboración. El ensayo se ha realizado sobre una bandeja Microtest de 500 mm equipada con un microprocesador Mitutoyo OP-1-VR y un captador de microdeformaciones Mitutoyo). Uno de los extremos de la bandeja es fijo mientras que el opuesto permite el movimiento del mortero durante el periodo de fraguado, a este extremo se le ajusta un medidor, muy sensible, que detecta estos movimientos y los mide en milímetros (mm.). Los intervalos de mediciones se pueden variar ajustándolos en cada caso a lo más conveniente, las lecturas se pueden observar directamente en el medidor de forma digital y también las obtenemos de forma impresa.

Se ha realizado el ensayo sobre una serie de productos, elaborados con su dosificación nominal correspondiente. La toma de medidas se ha hecho cada media hora; por tanto de cada producto se han tomado 48 medidas. Durante las 6 primeras horas se ha sometido al mortero a la acción del viento a una velocidad de 3 m/s, mediante ventilador calibrado. Para facilitar el movimiento del mortero se procede a engrasar la bandeja y a colocar plástico entre el mortero y la bandeja.



Figura 5. Engrasado de la bandeja



Figura 6. Medición de retracciones.

Los ensayos se han realizado en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la UPM.

### 3.5. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FISURACIÓN. TEST DE LOSA KRAAI.

Se trata de un ensayo de secado superficial acelerado para provocar retracción plástica. Este ensayo fue ideado para medir la fisuración por retracción plástica superficial en las primeras horas tras la puesta en obra de hormigones. En un principio se concibió para firmes rígidos, pavimentación, hormigones in situ [3]. En esta investigación se ha extendido y aplicado a morteros de revestimiento.

Se han fabricado moldes de madera de  $60 \times 60 \times 2 \text{ cm}^3$ , que permiten extraer losas de un espesor muy parecido al que tienen los revestimientos ejecutados con este tipo de materiales. En la base de los moldes y en el perímetro se anclan chapas en forma de U con la finalidad de reproducir la buena adherencia del mortero al soporte, impedir el movimiento y provocar una fisuración en la superficie. Se vierte el mortero y sin extraerlo del molde se le somete a la acción de un ventilador que acelera el secado superficial, siempre el mismo y en las mismas condiciones. De este modo se puede establecer un estudio comparativo.

Se han fabricado tres losas por cada producto, que se corresponden con las dosificaciones por encima de la idónea, idónea y por debajo. Los productos ensayados han sido los mismos que en el ensayo con bandeja de retracción.

Durante las 6 primeras horas se somete a las losas a la acción del viento, a  $3 \text{ m/s}$  y se hace una evaluación a las 24 horas. Midiendo la longitud y anchura de cada fisura y superficie total fisurada de cada losa. Posteriormente las losas han estado 28 días a la intemperie realizando después una evaluación como la anterior.



Figura 7. Molde de losa Kraai.



Figura 8. Moldes con el mortero vertido.

## 4. RESULTADOS.

### 4.1 DENSIDAD, POROSIDAD Y COEFICIENTE DE ABSORCIÓN.

Se presentan aquí los resultados de los ensayos realizados con muestras del mortero A. Los del resto de los morteros analizados se pueden consultar en la referencia [4], y son similares. La Tabla 2 contiene las medidas sobre probetas normalizadas de dicho mortero A.

**TABLA 2.- VALORES MEDIOS DE LAS MEDIDAS DE DENSIDAD, COEFICIENTE DE ABSORCIÓN Y POROSIDAD ABIERTA. PRODUCTO A.**

PRODUCTO A			
Relación agua/mortero seco (peso)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Coefficiente de Absorción (%)	Porosidad Abierta (%)
0.15	1.76	7.86	13.82
0.18	1.63	7.97	12.98
<b>0.22</b>	<b>1.46</b>	<b>12.44</b>	<b>18.22</b>
0.26	1.38	17.84	24.66
0.30	1.35	23.01	30.95
0.32	1.35	25.91	34.95
0.35	1.34	27.95	37.36

Cada valor numérico presentado es la media de las medidas sobre tres probetas distintas, realizadas con la misma relación agua/mortero seco. De cada probeta se ha obtenido su densidad, porosidad abierta y coeficiente de absorción. Las curvas de las figuras 9 y 10 presentan estas medidas, para la densidad y coeficiente de absorción, respectivamente, de dicho producto A. Tanto en la tabla (negrita) como en las gráficas de las figuras 9 y 10 (símbolo F) se resalta el valor recomendado por el fabricante para la relación agua/mortero seco (peso).

Midiendo estos mismos parámetros, o la porosidad abierta, de muestras del mortero aplicado en obra se puede evaluar la relación verdadera de agua/mortero utilizada.

$$y = -798.76x^4 + 769.44x^3 - 253.57x^2 + 30.623x + 0.6807$$

$$R^2 = 0.9994$$

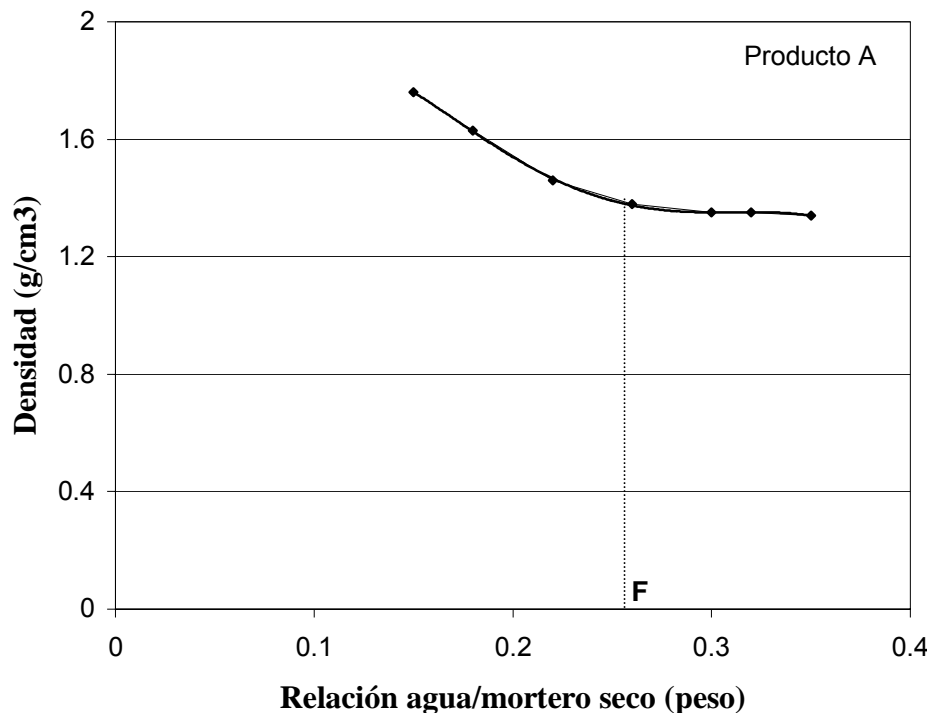




Figura 9.- Densidad del producto A en función de la relación agua/mortero seco. Se incluye la ecuación del ajuste a un polinomio de cuarto grado. Se indica el valor recomendado por el fabricante (F).

$R^2$  (coeficiente de correlación de la curva de ajuste que pasa por los puntos marcados en la grafica.  $R^2=1$  representaría el ajuste perfecto)

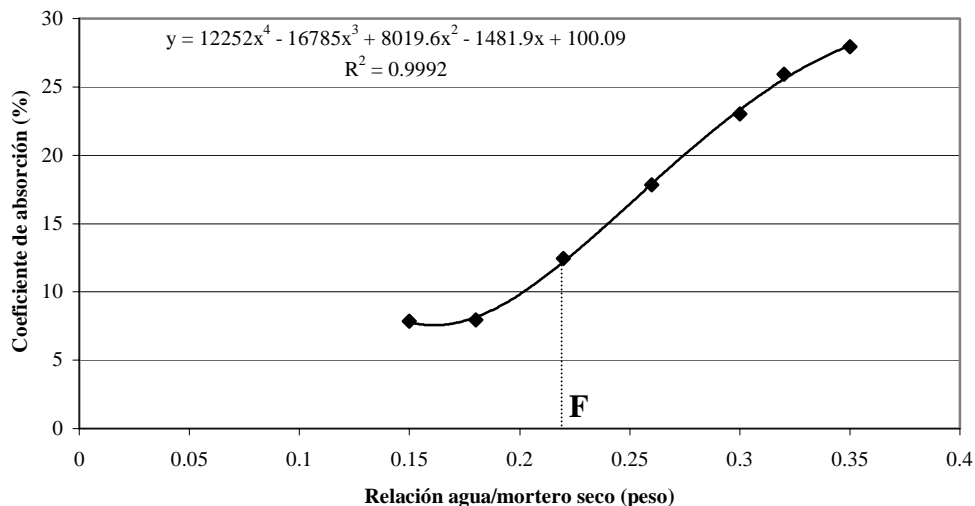


Figura 10.- Coeficiente de absorción (%) del producto A en función de la relación agua/mortero seco. Se incluye la ecuación del ajuste a un polinomio de cuarto grado. Se indica el valor recomendado por el fabricante (F).

#### 4.2 VELOCIDAD DE ULTRASONIDOS Y MODULO DE YOUNG.-

La Tabla 3 contiene las medidas de la velocidad de ultrasonidos en las mismas probetas del producto A, ya descrito. También se han reproducido en dicha tabla las medidas de la densidad aparente, para cada relación agua/mortero seco. De esta manera, el módulo de Young de cada probeta se calcula para este producto A en función de la cantidad de agua que se ha empleado en su elaboración, y puede contrastarse con lo que resulte de medidas “in situ” con un equipo portátil de ultrasonidos.

**TABLA 3.- VALORES MEDIOS DE LAS MEDIDAS DE DENSIDAD, VELOCIDAD DE LOS ULTRASONIDOS Y MÓDULO DE YOUNG CALCULADO. PRODUCTO A.**

Relación agua/mortero seco (peso)	Velocidad (m/s)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo de Young (GPa)
0.15	3298.97	1.76	19.15
0.18	2862.25	1.63	13.35
<b>0.22</b>	<b>2551.83</b>	<b>1.46</b>	<b>9.51</b>
0.26	2325.58	1.38	7.46
0.3	2133.33	1.35	6.14
0.32	2069.86	1.35	5.78
0.35	2015.11	1.34	5.44

Gráficamente se presentan estas medidas de velocidad de ultrasonidos en la figura 11. Las del módulo de Young calculado se contienen en la figura 12. Se indica en las gráficas el valor que corresponde al producto si se ha empleado la relación de agua/mortero seco recomendada por el fabricante (F). En ambos casos, el ajuste potencial que se indica en las figuras es excelente y se puede emplear para determinar la relación agua/mortero seco empleada en obra, a partir de medidas directas de la velocidad de ultrasonidos.

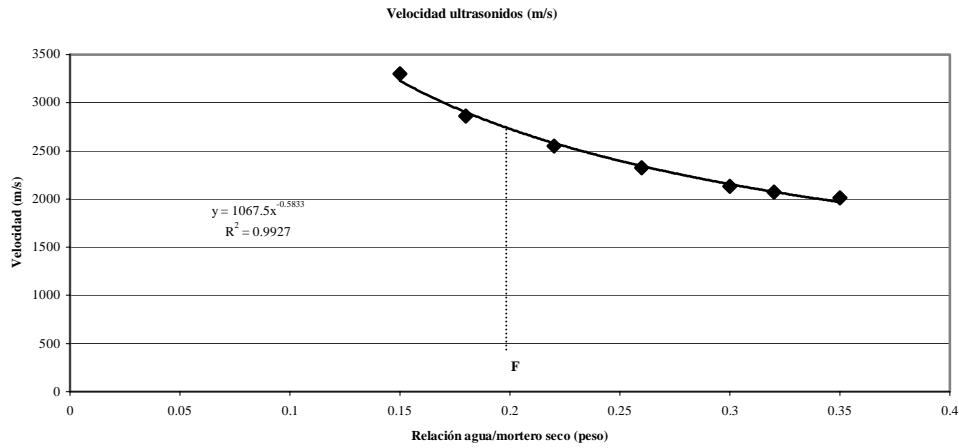


Figura 11.- Velocidad de ultrasonidos del producto A en función de la relación agua/mortero seco. Se incluye la ecuación del ajuste potencial. Se indica el valor recomendado por el fabricante (F).

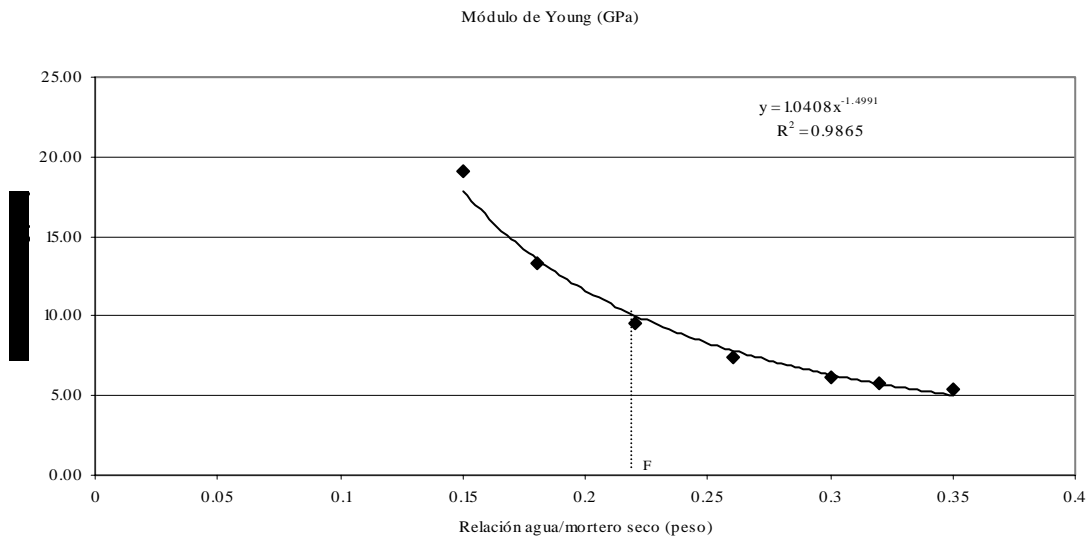


Figura 12.- Módulo de Young del producto A en función de la relación agua/mortero seco. Se incluye la ecuación del ajuste potencial. Se indica el valor recomendado por el fabricante (F).

### 4.3 TERMOGRAVIMETRIA.

En esta tabla 4 figuran siete temperaturas en grados centígrados que van desde 100°C hasta 700°C en las otras tres columnas figuran las pérdidas de peso, en porcentaje, que sufren las probetas a las temperaturas mencionadas. Son distintos estos porcentajes en función de la dosificación con la que han sido realizadas las probetas. Dosificación 0,26 (por encima de la

idónea), Dosificación 0,19 (idónea) y por último dosificación 0,15 (por debajo de la idónea). Para este producto en concreto. sobre el que se ha hecho este ensayo la dosificación idónea es 0,19

Las medidas están hechas sobre dos probetas para cada temperatura, dando el valor promedio. En total se han ensayado 14 probetas, 7 pares independientes, lo que explica las variaciones observadas y los descensos a 700 °C: dos desde temperatura ambiente a 100 °C, otras dos distintas desde temperatura ambiente a 200, y así sucesivamente.

**TABLA 4.- VALORES DE LA PERIDA DE PESO EN PORCENTAJE. QUE SUFREN LAS PROBETAS EN FUNCION DE LA DOSIFICACIÓN UTILIZADA Y TEMPERATURA. PRODUCTO E.**

Temperatura (°C)	Pérdida de peso (%), a/ms=0.26	Pérdida de peso (%), a/ms=0.19. <b>Idónea</b>	Pérdida de peso (%), a/ms=0.15
100	0.58	<b>0.75</b>	0.31
200	2.71	<b>1.94</b>	2.11
300	5.15	<b>4.28</b>	5.28
400	6.22	<b>6.39</b>	6.54
500	6.6	<b>6.71</b>	7.16
600	7.59	<b>7.44</b>	8.1
700	7.54	<b>6.8</b>	7.89

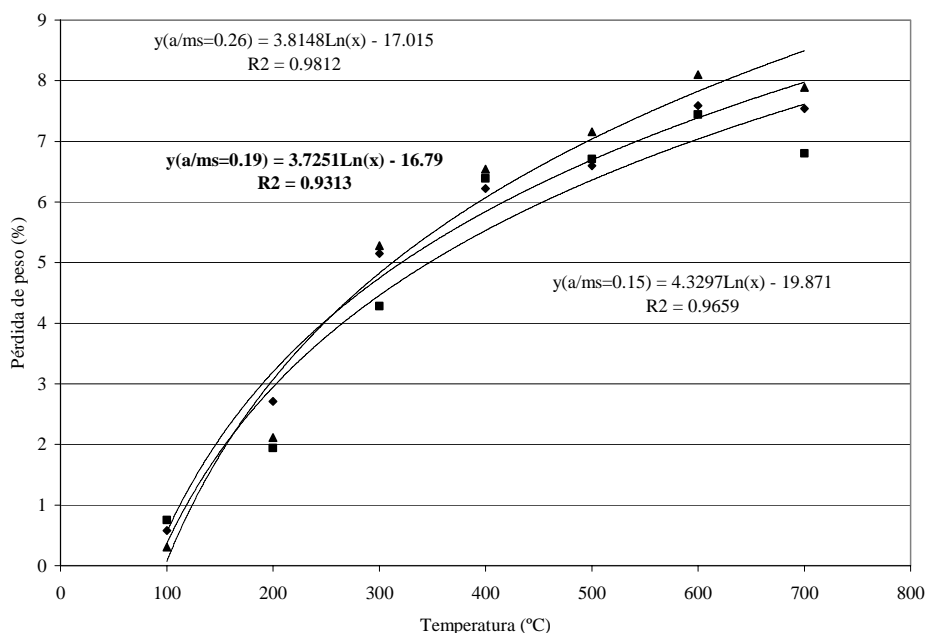


Figura 13.- Termogravimetría. Pérdida de peso (%) en función de la temperatura de calcinación (°C), para series de probetas de mortero amasadas con diversas relaciones agua/mortero seco (a/ms). En negrita el ajuste para la dosificación idónea (a/ms=0.19).

En la figura 13 se puede observar como la pérdida de peso (%) y la temperatura (°C) están relacionadas mediante una curva de tendencia de tipo logarítmico, con un coeficiente de correlación R<sup>2</sup> que en los tres casos es excelente. Cada curva corresponde a una dosificación.

**4.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CON BANDEJA DE RETRACCIÓN. TEST DE LOSA KRAAI.**

La figura 14 representa los movimientos de retracción que experimentan cinco morteros ensayados en la bandeja de retracción durante las primeras 24 horas desde su elaboración, con una relación de agua/mortero seco idónea.

Ya se ha descrito que estos ensayos de retracción se programaron sometiendo al mortero fresco en la bandeja a la acción del viento de un ventilador (3 m/s en la superficie del mortero fresco), durante las 6 primeras horas, para poder hacer un análisis comparativo con el test de losa Kraai, como se comenta más adelante.

Efectivamente, se observa que la retracción es importante mientras dura la acción del viento, tanto en valor absoluto como en la velocidad de retracción. Una vez que finaliza la acción del viento, la retracción se estabiliza en las condiciones del laboratorio.

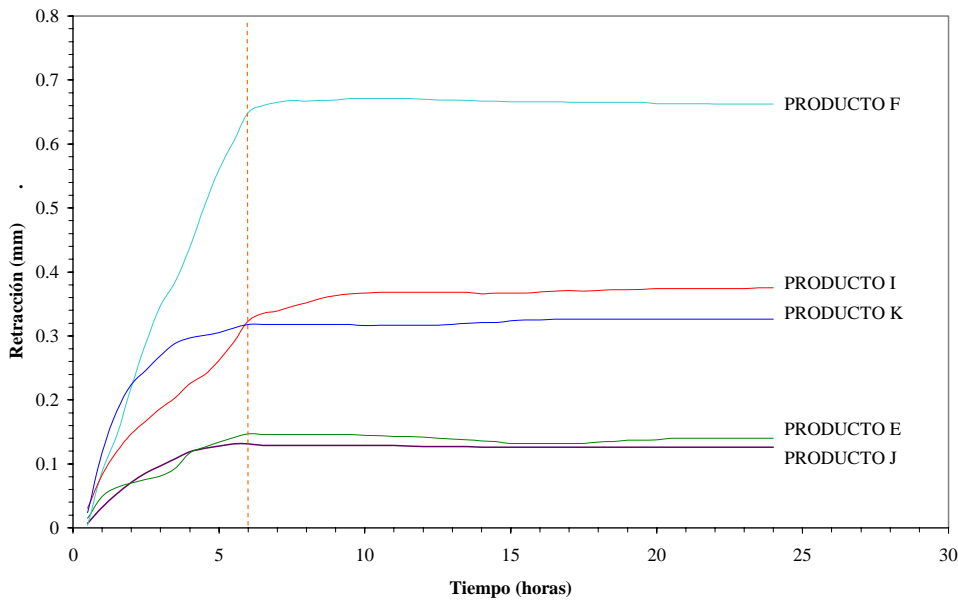


Figura 14.- Retracciones medidas en la bandeja de retracción para cinco morteros, sometidos durante las 6 primeras horas a la acción del viento de un ventilador calibrado (3 m/s), y dejados después en las condiciones ambientales del laboratorio.

En la figura 15 se representan dos grupos de medidas de velocidades de retracción en bandeja de estos cinco productos elaborados con la dosificación idónea. El primer grupo se ha obtenido a las dos horas del vertido en la bandeja, y el segundo al acabar la acción del ventilador, seis horas desde el inicio. Se observa que la velocidad inicial de retracción (dos horas) siempre es mayor que la media durante las seis horas de acción del ventilador.

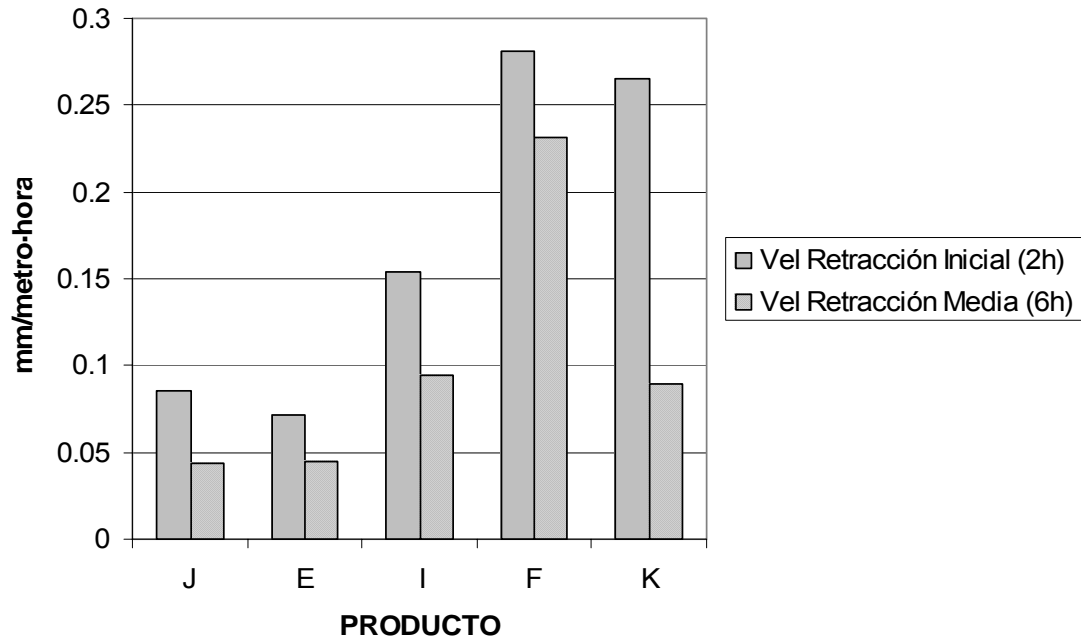


Figura 15.- Velocidades de retracción del mortero fresco de cinco productos ensayados en bandeja, elaborados con la dosificación idónea agua/mortero seco.

Estos resultados se comparan con las medidas de la fisuración que experimentan las losas de mortero fresco de estos mismos productos bajo el ensayo Kraai, fabricadas con tres dosificaciones agua/mortero seco diferentes: idónea, inferior a la recomendada y superior a la recomendada por el fabricante.

En la figura 16 se presentan gráficamente estos resultados. Las fisuras se han medido a las 24 horas del vertido del mortero fresco en moldes de losas Kraai y tras haber estado sometidas a la acción de un ventilador calibrado (velocidad del viento en superficie 3 m/s) durante las 6 primeras horas.

Las fisuras se han medido también a los 28 días, en la superficie de las mismas losas, apreciándose que prácticamente no aparecen nuevas fisuras en ninguno de los supuestos aquí analizados experimentalmente, por lo que se puede afirmar que en este trabajo las fisuras de los morteros monocapa se forman en las primeras horas tras su aplicación al soporte.

### FISURACIÓN-DOSIFICACIÓN AGUA

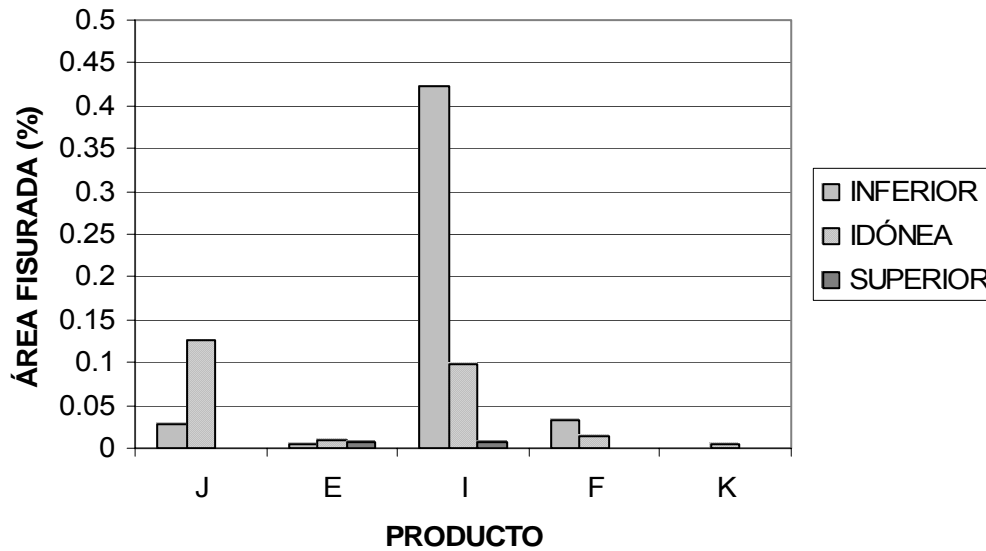


Figura 16.- Porcentaje de área fisurada en la superficie de las losas Kraai, a las 24 horas del vertido del mortero fresco, sometidas durante las 6 primeras horas a la acción de un ventilador calibrado. Las medidas se han repetido para tres dosificaciones diferentes agua/mortero seco de cada producto ensayado.

Se observa que la fisuración disminuye hasta anularse cuando se añade mas agua que la cantidad recomendada por el fabricante, mientras que aumenta sólo en dos productos (I y F) cuando se disminuye el agua de mezcla. Esto pone de manifiesto la gran incidencia que en el comportamiento de los morteros monocapa en estado fresco tienen los particulares aditivos que incorpora cada fabricante: controladores de fraguado, retenedores de agua, filmógenos, fibras cortas, pigmentos, entre otros, que llegan a alterar el normal comportamiento de los conglomerantes inorgánicos convencionales en estas condiciones.

La posible relación entre las retracciones medidas en bandeja y las fisuraciones de las correspondientes losas Kraai se analiza en la gráfica de la figura 17.

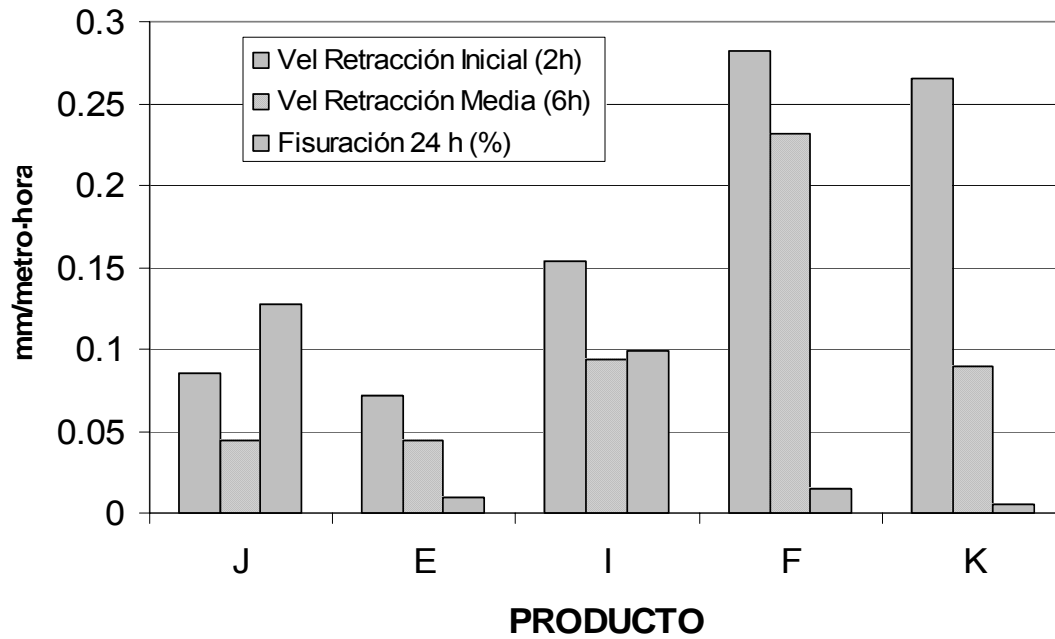


Figura 17.- Histograma de velocidades de retracción y fisuración medida en losas de morteros frescos de cinco productos con dosificación de agua de mezcla idónea.

Se observa en este histograma que la retracción total no está directamente relacionada con la fisuración. Los productos F y K, que presentan una retracción elevada a las 6 horas, fisuran poco, mientras que la fisuración es mayor en el mortero J, que retrae muy poco a las 6 horas, por ejemplo.

Sin embargo, a una velocidad de retracción inicial elevada (promediada a las 2 horas de la aplicación del mortero fresco) corresponde por lo general una pequeña fisuración a las 24 horas (de nuevo productos F, K y ahora, el E).

En la figura 18 se representa el módulo de Young de los morteros designados J, E, F, I, medido en probetas prismáticas 4x4x16 cm<sup>3</sup> en dirección longitudinal, como se indicó previamente, en relación al área fisurada medida a las 24 horas sobre losas Kraai de esos mismos morteros elaborados con su dosificación idónea.

Se observa una relación exponencial excelente entre el módulo de Young ultrasónico y la fisuración, de tal modo que a mayor módulo menor área fisurada. De este modo, la medida del módulo de Young ultrasónico se perfila como procedimiento a considerar para evaluar la calidad de un mortero monocapa, en cuanto a su previsible fisuración tras la aplicación.

De este modo, una vez establecido como criterio de calidad la máxima área fisurada admisible, por razones técnicas y estéticas, la selección del mortero vendría determinada por medidas del módulo de Young ultrasónico y los ensayos Kraai correspondientes.

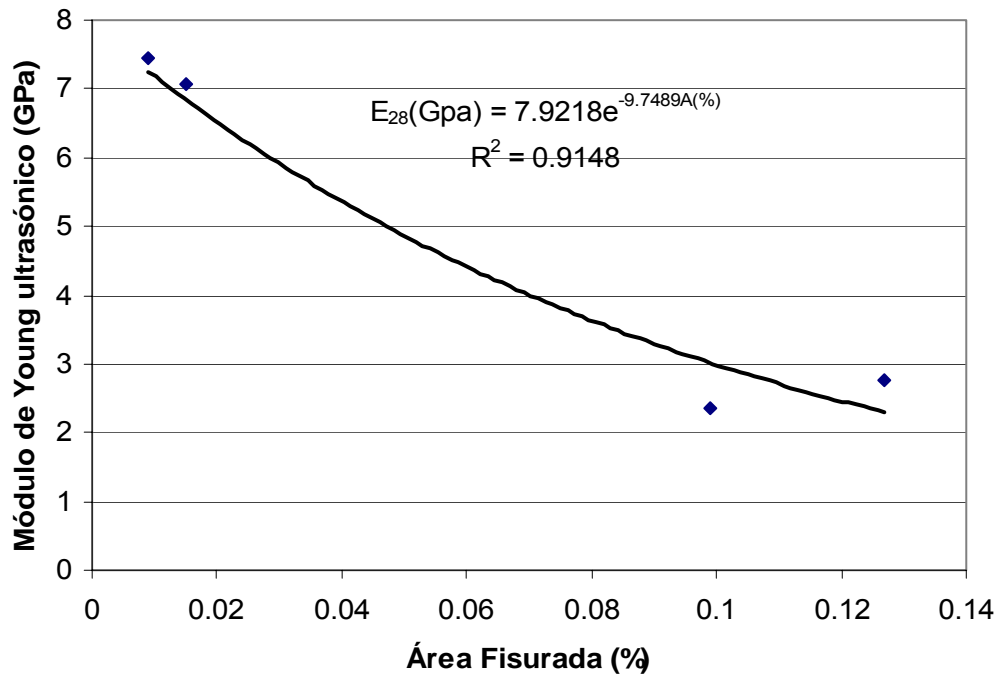


Figura 18.- Módulo de Young ultrasónico medido a los 28 días en probetas prismáticas a de morteros hidratados con la dosificación de agua idónea y área fisurada (%) en losas de esos mismos morteros, a las 24 horas en ensayo de losa Kraai.

## 5. DISCUSIÓN.-

### 5.1. SOBRE LOS ENSAYOS DE DENSIDAD COEFICIENTE DE ABSORCIÓN Y POROSIDAD.

Tabla 2 Figuras 9 y 10.

Del análisis de la graficas que correlacionan la densidad, el coeficiente de absorción (o la porosidad asociada) de un producto con la relación agua mortero empleada se desprende, que en todos los casos estudiados la representación analítica de dicha gráfica se corresponde bien con una ecuación polinómica de cuarto grado.

El coeficiente de correlación ( $R^2$ ), que se encuentra incluido junto con la ecuación de ajuste de cada una de las graficas es excelente. Es prácticamente 1.

Se puede, por tanto, averiguar mediante estos tres tipos de graficas la relación agua/mortero empleada en la fabricación de los morteros que se corresponden con los productos ensayados sin más que tomar una muestra en la obra del mortero y medir su densidad, coeficiente de absorción y porosidad. Entrando en la grafica correspondiente se obtiene tanto gráfica como analíticamente la relación agua/mortero.

### 5.2. SOBRE LOS ENSAYOS DE VELOCIDAD ULTRASONICA Y MODULO DE YOUNG.

Tabla 3. Figuras 11 y 12.

Las gráficas que muestran la correlación entre la velocidad ultrasónica y la relación agua/mortero, y las gráficas que muestran la correlación entre el modulo de Young dinámico y la relación agua/mortero, ponen de manifiesto que en todos los casos estudiados la representación analítica de dicha gráfica es una ecuación potencial.



El coeficiente de correlación ( $R^2$ ), que se encuentra incluido junto con la ecuación de ajuste de cada una de las gráficas, es en todos los casos estudiados excelente.

Medidas directas sobre el mortero endurecido de la velocidad de propagación de los ultrasonidos y de la densidad aparente permiten deducir la cantidad de agua empleada.

### **5.3 SOBRE LOS ENSAYOS DE TERMOGRAVIMETRIA.**

#### **Tabla 3 Figura 13.**

De todas las gráficas ensayadas que relacionan la pérdida de peso con la temperatura, la que mejor se adapta a los puntos obtenidos es la que se corresponde con una ecuación de tipo logarítmico con un coeficiente de correlación ( $R^2$ ) excelente.

En todos los casos ensayados las gráficas que se corresponden, tanto, con las dosificaciones por encima de la idónea como por debajo se encuentran a un lado de la realizada con la dosificación idónea, unas veces las dos por encima y otras las dos por debajo de la idónea, pero nunca equidistantes de la anterior. Esto es debido a los aditivos y porcentajes de los mismos que llevan este tipo de morteros en su composición.

Realizado el estudio termogravimétrico anterior para un mortero determinado, se obtienen las tres gráficas correspondientes a dosificación por encima de la idónea dosificación idónea y dosificación por debajo de la idónea. Se extrae una muestra del mortero ejecutado en obra, se le somete al ensayo descrito, se compara la curva termogravimétrica obtenida y se deduce si coincide o no con la correspondiente a la dosificación idónea.

### **5.4. SOBRE LOS ENSAYOS CON BANDEJA DE RETRACCIÓN. LOSAS KRAAI.**

#### **Figuras 14, 15, 16 17 y 18.**

Los movimientos que sufre un mortero durante el periodo de fraguado se producen durante las primeras 24 horas. La acción del viento provoca que los movimientos sean más acusados, en cualquier caso antes de transcurridas las primeras 24 horas las lecturas son constantes por tanto dejan de producirse movimientos. Siendo la velocidad de retracción distinta para cada mortero.

La aparición de fisuras se produce durante las primeras 24 horas, siendo menor esta fisuración con dosificaciones por encima de la idónea. A los 28 días de haber sido elaborado el mortero la fisuración es prácticamente inapreciable, manteniéndose la tendencia de presentar menor fisuración los productos elaborados con dosificaciones por encima de la idónea. La velocidad de retracción es inversamente proporcional al porcentaje de fisuración para dosificaciones idóneas (recomendadas por el fabricante).

La excelente correspondencia que existe entre el módulo de Young ultrasónico y la proporción de área fisurada se puede utilizar como referencia para establecer criterios de control de calidad en los morteros monocapa. En efecto, bastaría con definir criterios estéticos de máxima fisuración admisible, fundados en el examen de losas Kraai de los morteros con las dosificaciones que se seleccionen. Estos ensayos se realizan en poco tiempo (24 horas) y no son costosos. La medida en obra del módulo ultrasónico puede utilizarse para cuantificar el área fisurada porcentual y el grado de calidad conseguido en la aplicación del mortero.

## **6. CONCLUSIONES.**

De las muestras extraídas en obra de un mortero monocapa, obtenidas su densidad, coeficiente de absorción porosidad, modulo de Young y velocidad ultrasónica, utilizando las gráficas correspondientes al mortero monocapa en cuestión, previamente calculadas deducimos la relación agua/mortero empleada en su elaboración.

Los ensayos de termogravimetría permiten conocer la relación agua/mortero empleada en la elaboración de un mortero a partir de una muestra extraída en obra por comparación.

Elaborada la grafica que relaciona la perdida de peso con la temperatura de un mortero monocapa, fabricado con la dosificación idónea, se compara con la grafica de una muestra extraída en obra de ese mismo producto, comparando ambas graficas e incluso con las graficas obtenidas para dosificaciones por encima o por debajo de la idónea deducimos si la relación agua/mortero empleada se ajusta o no a las especificaciones facilitadas por el fabricante en cuanto a dosificación.

De todas las graficas ensayadas que relacionan la perdida de peso con la temperatura, la que mejor se adapta a los puntos obtenidos es la que se corresponde con una ecuación de tipo logarítmico con un coeficiente de correlación ( $R^2$ ) excelente.

La aparición de humos y olores se ha producido, en todos los casos independientemente del producto y de la dosificación, entre 200° C y 500° C como consecuencia de que se quemaran los aditivos orgánicos.

En todos los casos ensayados la probetas entre 100° C y 600° C sufren un proceso de oscurecimiento a partir de esta temperatura empieza el proceso inverso, se aclaran, debido a que a partir de 600° C desaparecen los pigmentos incorporados.

Las graficas que se corresponden con dosificaciones idóneas, en ningún caso se encuentran equidistantes de las otras dos dosificaciones ensayadas, por encima y por debajo de la idónea. Se han situado, en todos los casos ensayados, o por encima o por debajo de las graficas que se corresponden con dosificaciones superiores a la idónea o inferiores a la idónea. (Como consecuencia de los aditivos y porcentajes de los mismos incorporados en la mezcla).

Los movimientos que sufre un mortero monocapa se producen antes de que transcurran 24 horas desde su aplicación, el viento aumenta el grado de movimientos del mortero.

La velocidad de retracción es distinta para cada tipo de mortero, y es inversamente proporcional al porcentaje de fisuración, a mayor velocidad de retracción menor porcentaje de fisuración (dosificaciones idóneas).

La aparición de fisuras relacionadas con la dosificación (agua/mortero) se produce durante las primeras 24 horas desde su aplicación. La fisuración trascurridos 28 días desde su elaboración es prácticamente inapreciable. Se ha comprobado que la fisuración es menor con dosificaciones por encima de la idónea para cada producto.

Medidas del módulo de Young ultrasónico pueden cuantificar el grado de calidad del mortero aplicado, por su relación con el área fisurada.

## 7. REFERENCIAS

[1] *Documento de Idoneidad Técnica*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. 2004, nº 341/R. Madrid. Servicio de publicaciones Instituto Eduardo Torroja.

*Documento de Idoneidad Técnica*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. 2004, nº 342/R. Madrid. Servicio de publicaciones Instituto Eduardo Torroja.

*Documento de Idoneidad Técnica*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. 2004, nº 343/R. Madrid. Servicio de publicaciones Instituto Eduardo Torroja.

*Documento de Idoneidad Técnica*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. 2001, nº 375. Madrid. Servicio de publicaciones Instituto Eduardo Torroja.

*Documento de Idoneidad Técnica*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. 2001, nº 376. Madrid. Servicio de publicaciones Instituto Eduardo Torroja.

*Documento de Idoneidad Técnica*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. 2002, nº 390. Madrid. Servicio de publicaciones Instituto Eduardo Torroja.

*Documento de Idoneidad Técnica*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. 2002, nº 395. Madrid. Servicio de publicaciones Instituto Eduardo Torroja.

[2] Sánchez Javier A., Barrios Jesús, Barrios Ángela y Arellano Agudo Antonio R. "La retracción en los morteros de cal" *Materiales de Construcción*, volumen 47 nº 245.

[3] Hernández Olivares Francisco . "Fatigue Behaviour of Recycled Tyre Rubber-Filled Concrete and Design Criteria for Rigid Pavements". *Materiales de Construcción*. Referencia nº 50912.

[4] Mayor Lobo Pablo Luis. Tesis Doctoral: "Revestimientos ejecutados en obra con morteros monocapa. Determinación de sus parámetros fundamentales por procedimientos físico-mecánicos que permitan evaluar su calidad"

[5] Sánchez Javier A., Barrios Jesús, Barrios Ángela y Arellano Agudo Antonio R. "La retracción en los morteros de cal" *Materiales de Construcción*, volumen 47 nº 245.

[6] Álvarez Fernández Luis. "Cementos de albañilería". *Cemento-hormigón*. 2002,73(838), p. 4-9.