

La retracción en los morteros de cal

The shrinkage in lime mortars

JAVIER A. SÁNCHEZ, Lic. Ciencias Químicas; JESÚS BARRIOS, Catedrático E. T. S. Arquitectura;
ÁNGELA BARRIOS, Prof. Asociada E.T.S. de Arquitectura y ANTONIO R. DE ARELLANO AGUDO,
Catedrático E. U. Arquitectura Técnica

Fecha de recepción: 2-IV-96

Fecha de aceptación: 10-VI-96

ESPAÑA

RESUMEN

La metodología existente en la actualidad para la medida de la retracción de secado¹, desarrollada para las pastas y los morteros de cemento, presenta serios problemas a la hora de su aplicación a los morteros de cal debido a su distinto mecanismo de endurecimiento. Algunas modificaciones de las normas UNE 80-113-86 y 80-112-89 hacen posible la determinación de la retracción en estos morteros tradicionales.

SUMMARY

Nowadays, the methodology existing to measure the shrinkage in air¹, developed for paste and cement mortars, has serious problems to be applied to lime mortars, due to its different mechanism of hardening several modifications in Norms UNE 80-113-86 y 80-112-89 make possible the determination of the shrinkage in these traditional mortars.

1. LA RETRACCIÓN

Con el nombre de retracción se conoce al proceso de reducción de volumen que sufren las pastas, los morteros y los hormigones antes, durante y después del fraguado, cuando son expuestos al aire. Este fenómeno tiene dos orígenes bien diferenciados, que dan lugar a dos tipos de retracción:

-Retracción térmica. La hidratación de los compuestos anhidros del cemento es una reacción exotérmica que eleva la temperatura de los morteros. Pero este calor desprendido por el cemento, pasa finalmente al medio, con el consiguiente descenso de la temperatura del mortero. El enfriamiento del mortero es el origen de la retracción térmica, que viene dada por la fórmula:

$$R_{\theta} = \alpha (\theta_1 - \theta)$$

R_{θ} = retracción térmica del mortero a la temperatura θ
 α = coeficiente de dilatación térmica del mortero
 θ_1 = temperatura inicial del mortero

1. THE SHRINKAGE

The shrinkage is the name of the process of volume reducing suffered by pastes, mortars and concretes before, during and after the setting, when they are exposed to the air. This phenomenon has two different origins that develop two kinds of shrinkage:

-Thermic shrinkage. The hydration of cement anhydrous compounds is an exothermic reaction that raises the mortars temperature. But this heat given off by cement finally reaches the environment with the consequent fall of mortar's temperature. The origin of the thermic shrinkage is the cooling of the mortar, set by the formula:

$$R_{\theta} = \alpha (\theta_1 - \theta)$$

R_{θ} = thermic shrinkage of mortar at t temperature
 α = coefficient of thermal expansion of the mortar
 θ_1 = initial temperature of the mortar

¹ El proceso de secado hace referencia a la pérdida de agua por evaporación que se produce antes, durante y después del fraguado en los morteros de cemento y en el caso de los morteros de cal, donde no se puede hablar estrictamente de fraguado, a la evaporación de agua que conduce, junto con la carbonatación, al endurecimiento del mortero.

¹ The drying process, in the case of cement mortars is related to the loss of water through evaporation that takes part before, during and after the setting, and in the case of lime mortars (in which we can not strictly say setting) is related to the water evaporation which develops with the carbonation, the mortar hardening.

-Retracción hidráulica o de secado. La pérdida de agua de amasado por evaporación en el mortero se produce desde el momento en que no está permanentemente en un ambiente húmedo (100% de humedad relativa). Parte de este agua se encuentra en poros, y su evaporación origina una presión negativa, que es la causante de esta retracción. La fórmula algebraica de la retracción hidráulica es una expresión compleja, del tipo:

$$R_h = 2R_m \frac{(1-\eta)^{0.7}}{D^n} \times \left[1 - \frac{1}{(1 + 0,79 (s/v)^2 t)^{0.2} \times 1,024^{(s/v)2t}} \right]$$

R_h = retracción hidráulica

R_m = retracción máxima (al cabo de un año aprox.)

η = humedad relativa de la atmósfera

D = dimensión máxima del árido expresada en mm

n = variable que depende de los huecos que deje el árido

s/v = superficie libre partida por el volumen de mortero

t = tiempo en días

2. LA RETRACCIÓN EN LOS MORTEROS DE CAL

El origen de la retracción

Los morteros de cal son materiales de construcción preparados con arena, cal y agua. La cal antes de su empleo en los morteros debe sufrir el proceso de apagado con agua, que es fuertemente exotérmico, y que la transforma en un producto hidratado (hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$), que ya no desprende calor cuando se mezcla con el agua. Sí se desprende calor cuando se produce la carbonatación (reacción con el anhídrido carbónico atmosférico, CO_2), pero debido a la lentitud de ésta, podemos afirmar que la retracción térmica no tiene lugar en los morteros de cal.

En cambio, la retracción hidráulica o de secado, causada por la evaporación del agua de amasado, si se produce en cuanto el mortero es expuesto a las condiciones atmosféricas (humedad relativa < 100%) y es la causante de la retracción en los morteros de cal.

Efectos de la retracción

La retracción genera unas tensiones internas en los morteros, que dependiendo de su duración, de la resistencia a tracción del mortero en ese instante, de la elasticidad por tracción y de la deformabilidad plástica del mortero, pueden originar desde la reducción de volumen hasta la fisuración.

La reducción de volumen o encogimiento es un fenómeno que tiene su mayor importancia mientras dura el periodo

-Hydraulic shrinkage or contraction in air. The loss of mixing water through evaporation in the mortar takes place from the moment it is not permanently in a humid environment (100% of relative humidity). Part of this water is in pores and its evaporation produces a negative pressure, causing this shrinkage. The algebraic formula of the hydraulic shrinkage is a complex expression of type:

R_h = Hydraulic shrinkage

R_m = maximum shrinkage (after one year approximately)

η = relative humidity of the atmosphere

D = maximum dimension of aggregate in mm

n = a variable depending on the holes left by the aggregate

s/v = free surface divided by the mortar volume

t = time in days

2. THE SHRINKAGE IN LIME MORTARS

The origin of the shrinkage

Lime mortars are building materials prepared with sand, lime and water. The lime before being used in mortars has to be slacked with water which is a strongly exothermic process that changes the lime into a hydrated compound (calcium hydroxide, $\text{Ca}(\text{OH})_2$), which will not through heat off anymore when mixing with water. There is a heat emission during the carbonation (reaction with the atmospheric carbon dioxide CO_2), but due to its slowness, it can be said that there is no thermic shrinkage in lime mortars.

However, the hydraulic shrinkage caused by mixing water evaporation does take place at the moment the mortar is exposed to atmospheric conditions (relative humidity < 100%) and it causes the shrinkage in lime mortars.

Effects of the shrinkage

The contraction generates some internal stress in mortars, that depending on its lasting, on the mortar tensile strength at that instant, on the tensile elasticity and on the mortar plastic deformation, may develop the volume reduction or even the failure.

The volume reduction or shrinkage is a very important phenomenon during the mortar plastic period and

plástico del mortero, y que da lugar a disminuciones de volumen o a esponjamientos locales de la estructura donde se amortiguan o contrarrestan las tensiones.

Las fisuras de retracción aparecen cuando el mortero no puede deformarse para relajar la tensión, entonces se produce la rotura. Estas fisuras pueden hacer su aparición antes y después del endurecimiento y siempre que el mortero encuentre impedida su deformación. El peligro de fisuración es generalmente tanto mayor, cuanto más rápidamente se desarrolle la retracción, y tanto menor, cuanto más prolongado sea el tiempo de que dispone el mortero para fluir.

La retracción se presenta como un fenómeno complejo, influenciado por una multitud de parámetros, y aunque siempre ha estado directamente asociada a la patología de las fisuras, también puede desarrollar otros efectos, como la reducción de volumen o encogimiento, que tiene lugar durante el secado de los morteros, cuando se dan las siguientes condiciones: consistencia plástica del mortero, su deformación no esté impedida y el secado sea excesivamente rápido.

Medida de la retracción en los morteros de cal

La metodología para la determinación de la retracción de secado está especificada en las Normas UNE 80-113-86 y 80-112-89 y consiste, básicamente, en la confección de probetas de mortero de dimensiones especiales (25x25x287 mm), con unos pernos calibradores insertados, que nos van a permitir realizar las medidas de longitud en un comparador de longitudes a lo largo del proceso de curado. Estas normas se han desarrollado para las pastas y morteros de cemento. Por tanto, presentan dificultades a la hora de su aplicación en los morteros de cal, debido al distinto mecanismo y velocidad de endurecimiento que presentan los conglomerantes hidráulicos en relación con los aéreos.

Los problemas que han surgido al aplicar estas normas a los morteros de cal son:

-Resistencia insuficiente del mortero a las 24 horas y a edades tempranas, para poder desmoldar las probetas y hacer la primera medida en el comparador de longitudes.

-Falta de adherencia de los pernos calibradores al mortero.

-Dificultad para desenroscar los pernos calibradores del soporte de perno, sin dañar la unión entre el mortero y el perno.

provokes volume diminution's or local swellings of the structure, where the stress is damped or resisted.

The fissures of shrinkage appear when the mortar can not be deformed to relax the stress, so then the failure occurs. These fissures can be developed before or after the hardening and anytime the mortar is not able to be deformed. The danger of cracking (fissures) is normally so much bigger when there is a quick shrinkage and so much smaller when the time the mortar has to flow last longer.

The shrinkage is presented as a complex phenomenon influenced by lots or parameters and even though it has always been directly related to fissures pathology, it can also develop other effects as the mortars volume reduction, that will occur during the drying process when the following conditions are present: plastic consistence of the mortar, to facilitate the strain and a not too fast drying period.

Measure of the shrinkage in lime mortars

The methodology to determinate the shrinkage in air is specified in Norms UNE 80-113-86 y 80-112-89 and it essentially lies in the making of mortar test pieces with specials dimensions (25x25x287 mm), with some inserted caliper bolts, that will permit us to measure the length in a length comparator along the curing process. These norms have been developed for pastes and cement mortars. Therefore, they present difficulties to be applied to lime mortars due to the different mechanism and different speed of hardening that hydraulic binders present in relation to air binders.

Many problems have arisen at the application of these norms to lime mortars:

-The mortar has an insufficient strength at 24 hours and at early ages to take the test pieces out of the mould and do the first measure in the length comparator.

-Non-adherence between the caliper bolts and the mortar.

-Difficulty to unscrew the caliper bolts from the bolt support without damaging the junction between the mortar and the bolt.

Por todo esto, ha sido necesario modificar el proceso de confección y, a su vez, el de medida de las probetas, siempre teniendo como base la normativa existente e introduciendo mejoras en las fases problemáticas. Los cambios más significativos han sido:

-El proceso de enmoldado del mortero fresco. Éste es similar al descrito en la Norma UNE 83-821-92 para las probetas de resistencia a la compresión y flexión, pero adaptado a las dimensiones del molde de retracción. Después se continúa con el nuevo proceso de curado² y desmoldado diseñado (Fig. 1).

-El diseño de nuevos pernos calibradores sin rosca y con dos discos de acero. La ausencia de rosca facilita el desmoldado, ya que el perno se extrae del soporte por simple deslizamiento y permite que esté libre longitudinalmente, con lo que resulta posible medir la retracción desde un primer instante. Los discos tienen la misión de aumentar la superficie de contacto entre el perno y el mortero, consiguiéndose, así, aumentar la adherencia. El disco mayor, a su vez, es la superficie de referencia y apoyo para el sistema de medida (Fig. 2).

-La modificación de los soportes del perno para conseguir mayor superficie de apoyo para el perno, ya que éste, ahora, no está roscado. Para ello se han doblado los soportes.

-Por último, la supresión de la placa base del molde por dos placas de vidrio rígidas.

Procedimientos de cálculo

- Sistema de medida de retracción de secado según la Norma UNE 80-112.

Consiste en la medida de la longitud de las probetas con un comparador de longitudes, una vez que se han desmoldado (después de permanecer 24 horas en el molde en atmósfera húmeda, HR > 90%) y se someten

For all this, it has been necessary to modify the making process as well as the measurement of test pieces, having always in mind the existing Norms and improving the problematic phases. The most significant changes have been:

-The moulding process of the fresh mortar. This is similar to the one described in Norm UNE 83-821-92 for test pieces with compressive and flexural strength, but adapted to the measures of the shrinkage mould. To be continued with the new curing process² and stripping (taking out of the mould) process designed (Fig. 1).

-The design of new caliper bolts without a screw and with two disk of steel. The absence of screw facilitates the stripped (to take out of the mould) because the bolt is taken out of the support by a simple displacement so it remains longitudinally free permitting the measurement of the shrinkage from the very first instant. The disks have to increase the contact surface between the bolt and the mortar, obtaining thereby a better adherence. The main disk is at the same time the bearing and reference face for the measure system (Fig. 2).

-Modification of bolt supports to obtain a larger bearing face for the bolt as it is not screwed now. For that, supports have been bent.

-Finally, the exchanging of the base plate of the mould for two plates of rigid glass.

Calculation process

- Measure system of shrinkage in air according to Norm UNE 80-112.

It is the measurement of the test pieces with a length comparator, once they haven stripped (taken out of the mould) after being 24 hours in the mould in a humid atmosphere (HR > 90%) and they are subjected to a

² Condiciones de confección y curado de las probetas de retracción (Making and curing conditions of shrinkage test pieces)

Condiciones de conservación (Maintenance conditions)	T = (20 ± 2)°C HR 0 (65 ± 5)%	T = (29 ± 2)°C HR = (65 ± 5)%
Tiempo de conservación (Maintenance time)	8 horas (8 hours)	28 días (28 days)
Condiciones de confección (Making conditions)	en el molde (in mould)	desmoldada (out of the mould)

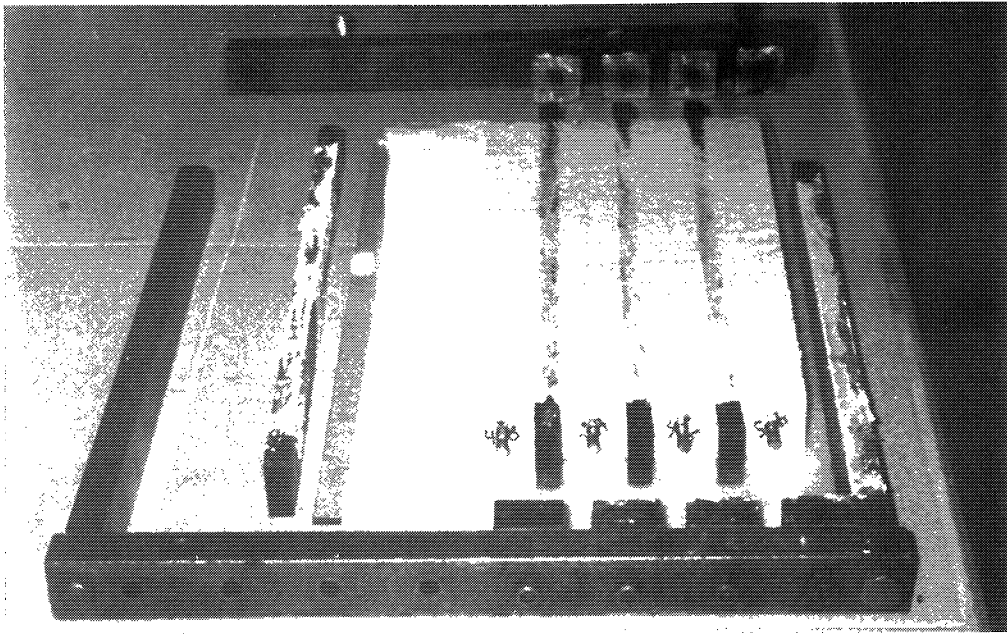


Fig. 1.- Desmoldado de las probetas de retracción.

Fig. 1.- Stripped (taken out of the mould) of the shrinkage test pieces.

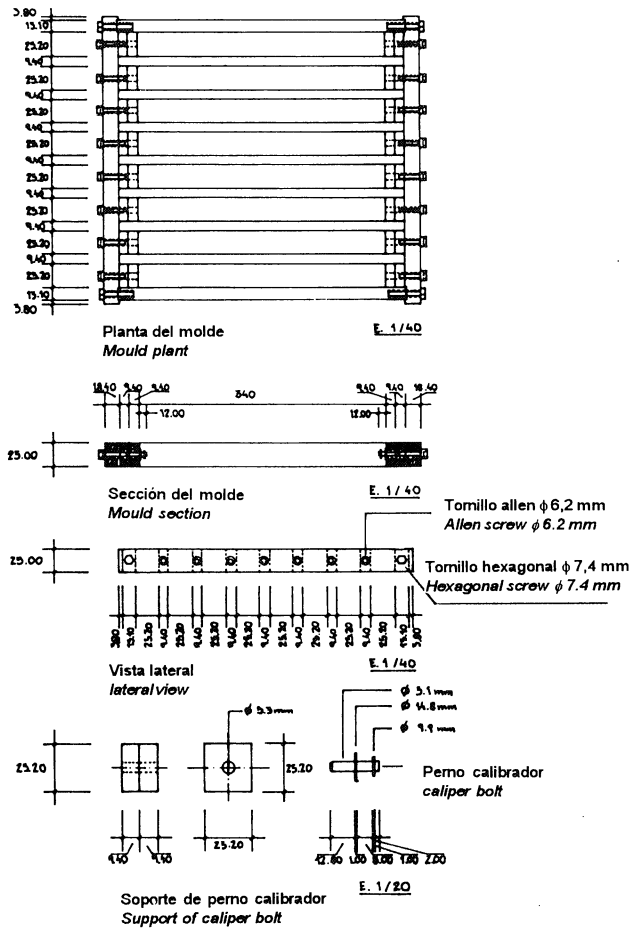
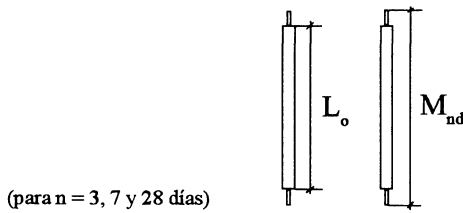


Fig. 2.- Croquis del molde, perno y soporte del perno.

Fig. 2.- Sketch of mould, bolt and bolt support.

a la atmósfera de secado (HR = 50 ± 5%). La retracción se calcula:

dry atmosphere (HR=50±5%). The shrinkage is calculated:



$$\Delta L_{nd}(\%) = \frac{M_{nd} - M_{1d}}{L_0} \times 100$$

(for n = 3, 7 y 28 days)

L_0 = longitud de la base del molde
 M_{nd} = medidas de la probeta con el comparador de longitudes, a los n días de edad (3,7 y 28 días, según la Norma)
 M_{1d} = primera medida de la probeta con el comparador de longitudes recién desmoldada a la edad de un día
 $\Delta L_{nd}(\%)$ (retracción) = Variación de longitud, en tanto por ciento, a la edad n

L_0 = length of mould base
 M_{nd} = measures of the test piece with the length comparator after n days of age (3, 7 and 28 days according to the Norm)
 M_{1d} = first measure of the test piece, right after been taken out of the mould at the age of one day, with the length comparator
 $\Delta L_{nd}(\%)$ (shrinkage) = length variation in percentage at the age of n days

- Sistema de medida de retracción propuesto para los morteros de cal.

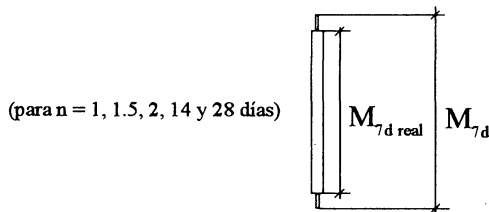
- Shrinkage measure system proposed for lime mortars.

Consiste en la obtención de las longitudes reales de la probeta a las distintas edades del ensayo ($L_{nd\ real}$) basándose en las medidas realizadas con el comparador de longitudes (M_{nd}) (Fig. 3) y en una medida de la longitud real de la probeta. Conociendo la longitud inicial de la probeta (L_0) y las longitudes reales a distintas edades es posible el cálculo de la retracción.

It lies in the obtention of the real lengths of the test piece at different ages of the test ($L_{nd\ real}$) according to the measures obtained with the length comparator (M_{nd}) (Fig. 3) and according to a measure of the real length of the test piece. The calculation of the shrinkage is possible, knowing the initial length of the test piece (L_0) and the real lengths at the different ages.

La medida de una longitud real de la probeta se ha realizado sobre los discos externos de acero de los pernos, con un calibre digital con resolución de 0,01mm, y a la edad de 7 días. El cálculo de la retracción se realiza de la siguiente forma:

The measurement of a real length of the test piece has been made on the steel external disks of the bolts with a digital caliper with resolution 0.01mm, and at the age of 7 days. The calculation of the shrinkage is made as following:



$$M_{nd} - M_{7d} = L_{nd\ real} - L_{7d\ real}$$

(for n = 1, 1.5, 2, 14 and 28 days)

$$L_{nd\ real} = (M_{nd} - M_{7d}) + L_{7d\ real}$$

$$\Delta L_{nd}(\%) = \frac{L_{nd\ real} - L_0}{L_0} \times 100$$

(for n = 1, 1.5, 2, 14 and 28 days)

L_0 = longitud de la base del molde
 M_{nd} = medidas de la probeta con el comparador de longitudes a los n días de edad (1, 1.5, 2, 7, 14 y 28 días)
 $\Delta L_{nd}(\%)$ (retracción) = Variación de longitud, en tanto por ciento, a la edad n

L_0 = length of the base of the mould
 M_{nd} = measures of the test piece with the length comparator at the age of n days (1, 1.5, 2, 7, 14 y 28 days)
 $\Delta L_{nd}(\%)$ (shrinkage) = length variation in percentage at the age n

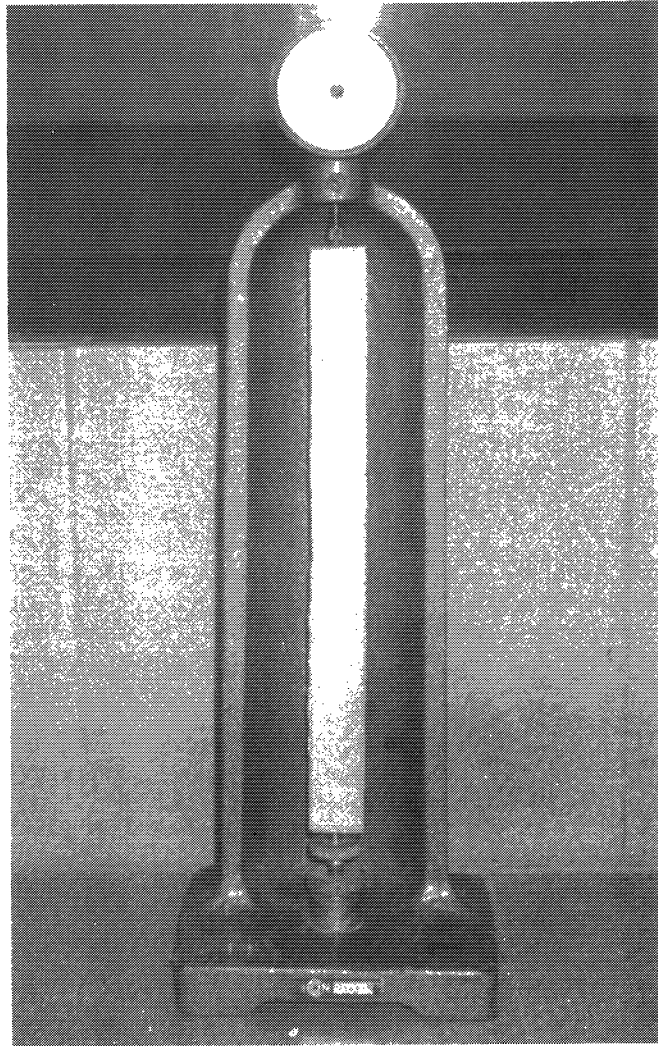


Fig. 3.- Medida de una probeta de mortero de cal y albero en el comparador de longitudes.

Fig. 3.- Measure of a lime and albero mortar test piece in the length comparator.

La retracción en diversos tipos de morteros de cal

En la realización del estudio de la retracción se han empleado 2 tipos de morteros:

-Mortero de cal y albero (MCAL). Aunque hoy en día ha caído en desuso, el mortero de cal y albero fue utilizado ampliamente en la Comarca de los Alcores (Sevilla). Este mortero, además de presentar bajos índices de fisuración por retracción y altas resistencias mecánicas en las zonas húmedas, se caracteriza por tener un color ocre claro.

El albero es un material autóctono muy rico en calcita, pobre en cuarzo y con bajos contenidos de óxidos de hierro. Estos óxidos se encuentran en forma de goethita y son los responsables del característico tono ocre del

The shrinkage in several types of lime mortars

Two types of mortars have been used to study the shrinkage:

-Lime and albero mortar (MCAL). Although it is not used anymore, the lime and albero mortar was very used in the area of Los Alcores (Sevilla). This mortar presents a low percentage of cracking (fissures) by shrinkage and high mechanical strength in humid areas. It is also characterized by a pale ochre colour.

The albero is an autochthonous material rich in calcite, poor in quartz and with low content in iron oxides. These oxides have a goethite shape and they are responsible for the characteristic ochre colour of

albero. Por esto, el albero, además de tener la función de árido, aporta el color al mortero, lo que supone un valor añadido desde el punto de vista estético, en el caso de su utilización como mortero de revestimiento, pues no debemos olvidar que el tono ocre es típico en las edificaciones en Sevilla.

-Mortero de cal y arena (MCAN). Es el mortero tradicional que nos ha servido, en este caso, como referencia. La arena empleada es la normalizada de referencia CEN EN 196-1.

También se ha utilizado una adición de gran actividad puzolánica, el humo de sílice (HS), que aporta hidraulicidad al mortero y mejora las resistencias mecánicas a edades tempranas, pero del que no se sabe la influencia que tiene en la retracción.

Los morteros se han agrupado según la consistencia de los morteros frescos que los originan y de la dosificación de humo de sílice, y su retracción se ha expresado como variación de longitud en porcentaje frente al tiempo. Como esta variación es siempre negativa al tratarse de retracción de secado, se ha omitido en los datos el signo negativo.

Interpretación de los gráficos

Los gráficos obtenidos para los distintos tipos de morteros y dosificaciones nos muestran que los MCAL han tenido unos valores de retracción superiores, tanto en los morteros secos como en los plásticos, a los MCAN (Fig. 4).

La adición de HS no produce una influencia significativa en la retracción de los morteros de consistencia plástica, ya que el comportamiento de éstos ha sido muy próximo. Para los morteros de consistencia seca, los valores más bajos de retracción han correspondido a los morteros sin adición de HS, pero dentro de los morteros con adición no se observa ninguna proporcionalidad entre el porcentaje de HS y la retracción.

En el caso de los MCAL, además de los gráficos de retracción (desde el enmoldado) frente al tiempo, se han realizado también unos gráficos de 1 a 28 días, ya que debido al estado plástico que presenta el mortero de cal en el primer día de secado, la retracción no origina fisuras, tal y como se explicó en apartados anteriores.

Discusión de los resultados

Teniendo en cuenta la igualdad en factores como la humedad ambiente, volumen de mortero, superficie libre en la que puede existir evaporación y tipo de cal, con la que se ha desarrollado la investigación, la

the albero. For that reason the albero not only has an aggregate function but also gives the colour to the mortar which is, from an aesthetic point of view, an extra value, when it is used as a plastering mortar, since we must not forget that this colour is typical in sevillian,s buildings.

-Lime and sand mortar (MCAN). It is the traditional mortar used as reference in this study. The sand used is the standard sand with reference CEN EN 196-1.

An addition of a pozzolanic activity, the silica fume (HS) has also been used, which brings pozzolanicity to mortar and improves the mechanical strengths at early ages. But the influence it has on the shrinkage is unknown.

Mortars, according to the fresh mortars consistence and to the dosage of silica fume, have formed groups and its shrinkage has been given as a length variation in percentage compared with time. As this variation, being a shrinkage in air, is always negative, the negative sign has been omitted at the data.

Interpretation of graphs

The graphs obtained by all different types of mortars and dosages, show that MCAL have had higher shrinkage values than the MCAN, not only in dry mortars but also in plastic mortars (Fig. 4).

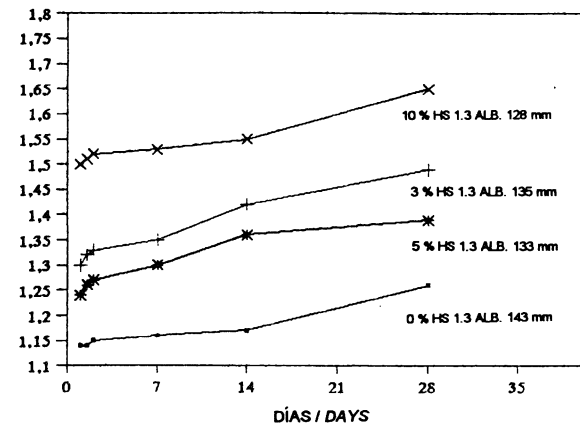
The addition of HS does not have a significant influence on the shrinkage of mortars with plastic consistence as their behaviour has been quite similar. With regard to mortars of dry consistence, the lower shrinkage values have been those mortars without an addition of HS, but even at mortars with an addition there's no proportion between the percentage of HS and the shrinkage.

In the case of the MCAL, besides the shrinkage graphs (in the mould) compared with time, some graphs from 1 to 28 days have been done, seeing that the shrinkage does not develop fissures due to the plastic conditions the lime mortar shows during the first day of drying, as it has been explained above.

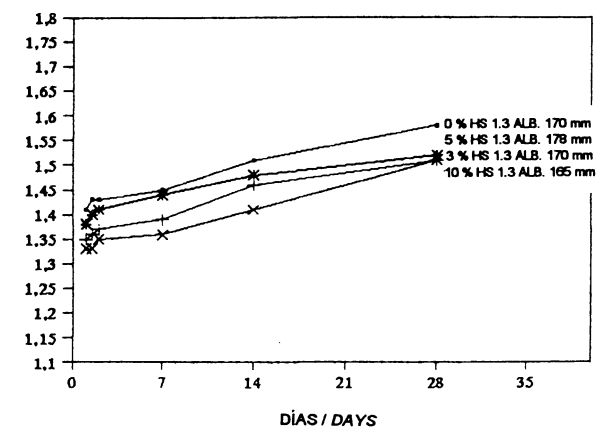
Explanation of results

This research has been done equalizing several facts as the ambient humidity, the mortar volume or free surface in which the evaporation may exit and type of lime utilized in this study so the hydraulic shrinkage is

MORTERO SECO
(Consistencia aprox. 135 mm)
DRYMORTAR
(Aprox. consistence 135 mm)

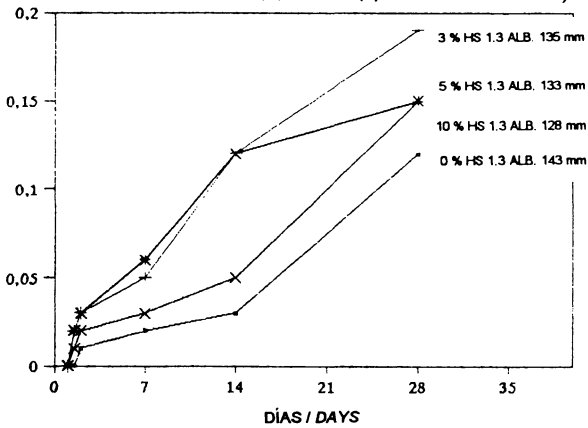


MORTERO PLÁSTICO
(Consistencia aprox. 170 mm)
PLASTIC MORTAR
(Aprox. consistence 170 mm)

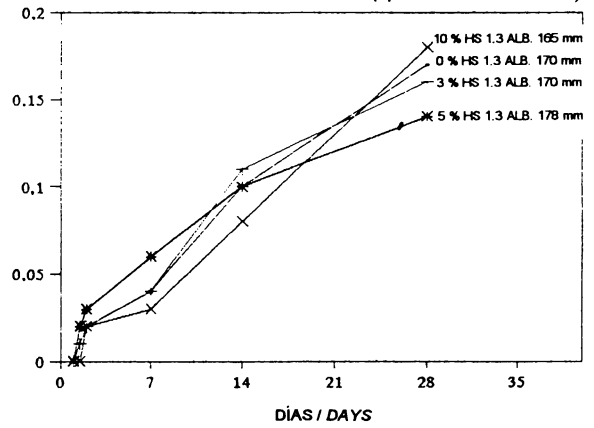


Retracción de los morteros de cal y albero con distintas dosificaciones de humo de sílice (HS).
Shrinkage of lime and albero mortars with different dosages of silica fume.

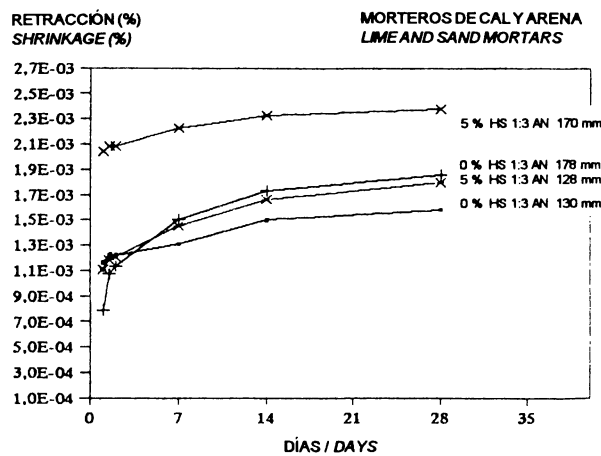
MORTERO SECO
(Consistencia aprox. 135 mm)
DRYMORTAR
(Aprox. consistence 135 mm)



MORTERO PLÁSTICO
(Consistencia aprox. 170 mm)
PLASTIC MORTAR
(Aprox. consistence 170 mm)



Retracción de 1 a 28 días de los morteros de cal y albero con distintas dosificaciones de humo de sílice (HS).
Shrinkage from 1 to 28 days of lime and albero mortars with different dosages of silica fume.



Retracción de los morteros de cal y arena normalizada.
Shrinkage of lime and normalized sand mortars.

Fig. 4 / Fig. 4

retracción hidráulica va a estar influenciada por los siguientes parámetros:

-D, dimensión máxima del árido. Con el aumento de la dimensión máxima disminuye la retracción.

-n, factor que hace referencia a la compacidad del árido. Oscila entre 0,2 para un árido que deje muchos huecos y 0,4 para un árido rodado.

-Relación agua/cal. A igualdad de dosificación, la retracción aumenta con el incremento de esta relación.

-El contenido de finos. La presencia de finos por encima de ciertos límites, hacen incrementar considerablemente la relación agua/cal, ya que retienen mucha agua.

-El módulo de deformación del árido. La retracción es mayor si el módulo es bajo.

Si comparamos estos parámetros en los dos áridos empleados (TABLA 1):

influenced by the following parameters:

-D, maximum dimension of the aggregate. With the increase of the maximum dimension, the shrinkage decreases.

-n, factor referred to the aggregate compactness. It oscillates between 0.2 for an aggregate leaving many holes and 0.4 for a rolling aggregate.

-Water/lime ratio. With an equal dosage, the shrinkage increases with the raise of this ratio.

-Content in fines. The presence of fines over certain limits promotes a substantial increase in the water/lime ratio, since they retain a lot of water.

-Strain module of the aggregate. There is a higher shrinkage if there is a low module.

Comparison of parameters in both aggregates (TABLE 1):

TABLA I (TABLE I)

	Arena normalizada (Standard sand)	Albero cernido (Sieved Albero)
D	2 mm	5 mm
n	≈ 0,4 (árido rodado) (≈ 0.4 rolling aggregate)	≈ 0,2 (carácter lajoso) ≈ 0.2 (flat character)
Agua/cal (Water/lime)	≈ 1,9	≈ 2,5
Finos < 0,08 mm (Fines < 0.08 mm)	≈ 2%	≈ 26%
M	mayor en árido síliceo (higher in silica aggregate)	menor en árido calizo (lower in limy aggregate)

Todos los factores, excepto el tamaño máximo del árido, influyen en que la retracción en los MCAL sea superior a de los MCAN. Pero de los altos valores de retracción obtenidos en los MCAL, aproximadamente un 90% de ésta se produce durante el primer día de secado y no tiene porque asociarse a la formación de fisuras. Los gráficos de 1 a 28 días nos muestran ya unos valores inferiores de la retracción. A partir de este momento, es cuando habría que analizar los factores que intervienen en la fisuración (retracción, resistencia a tracción, elasticidad por tracción, deformabilidad plástica,...) para saber si se va a producir o no esa patología.

Los morteros de consistencia plástica (relación agua/cal mayor) han tenido unos valores de retracción más elevados, como era de esperar al tener más agua para evaporarse.

La adición de una puzolana como el HS, debería

The shrinkage in MCAL is higher than the contraction in MCAN due to the influence of all the factors excepting the maximum size of the aggregate. Between the high values of shrinkage obtained in MCAL, a 90% approximately of this shrinkage takes place during the first day of drying, and it does not have to be related to the develop of fissures. The graphs from 1 to 28 days show already lower values of the shrinkage. From this moment, the factors that take place in the cracking (fissures) would have to be analysed (shrinkage, tensile strength, tensile elasticity, plastic deformation,...) to know if that pathology is going to be developed or not.

The mortars of plastic consistence (higher water/lime ratio) have had higher shrinkage values, as it was expected since they have much water to be evaporated.

The addition of a pozzolanic as the HS, should means a

suponer una disminución de la retracción, pero probablemente, debido a los bajos porcentajes de HS utilizados y a la lentitud del proceso de reacción con la cal (pese a su gran actividad puzolánica) respecto a la evaporación, no se ha observado que se haya producido la disminución.

3. CONCLUSIONES

El empleo de una nueva metodología basada en las Normas UNE 80-113-86 y 80-112-89 (para la medida de la retracción de las pastas y de los morteros de cemento), con modificaciones en los elementos de medida y en las condiciones de curado, nos ha permitido determinar la retracción en los morteros de cal, que al tener un mecanismo de endurecimiento diferente a los de cemento, hacían imposible la aplicación de las citadas normas.

El estudio realizado sobre morteros de cal con dos tipos de árido (arena normalizada y albero) nos muestra la influencia que tienen en la retracción factores como la relación agua/cal, el porcentaje de finos menores de 0,08mm y el grado de compactación del árido. Así, los MCAN, con un árido con buena granulometría y forma de grano, han presentado unos valores de retracción casi despreciables, y los MCAL, con un árido con gran porcentaje de finos y forma lajosa, unos valores muy elevados.

Por último, podemos decir que la retracción tiene un fuerte efecto de reducción de volumen en algunos morteros (MCAL) mientras éstos tienen un estado plástico (aproximadamente durante el primer día de secado).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al M.E.C. (a través de su Programa Nacional De Formación de Personal Investigador, Ayudas al intercambio de Personal Investigador entre Industrias y Organismos Públicos de Investigación -Modalidad D-) y a la empresa Vorsevi S.A., sin los que no habría sido posible la realización del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) AENOR. Norma UNE 80-112 (1989). Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la retracción de secado y del hinchamiento en agua.
- (2) AENOR. Norma UNE 80-113 (1986). Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la expansión en autoclave.

shrinkage decreases, but probably due to the low percentages of HS utilized and to the slowness of the reaction process with lime (despite its high pozzolanic activity) in relation to the evaporation, the decrease has not been observed.

3. CONCLUSIONS

The use of a new methodology according to Norms UNE 80-113-86 and 80-112-89 (to measure paste shrinkage and cement mortars shrinkage), with some modifications at the measure elements and curing conditions, has permitted the determination of the shrinkage in lime mortars. As these lime mortars had a different mechanism of hardening from the one in cement mortars, the application of those norms was impossible.

This study, realized on lime mortars with two types of aggregate (standard sand and albero) shows the influence that some factors as the water/lime ratio, the percentages of fines smaller than 0.08 mm or the aggregate compactness, have on the shrinkage. Thus, the MCAN with an aggregate of good granulometry and grain shape have presented an almost negligible shrinkage values, and the MCAL with an aggregate of high percentage of fines and a flat shape have presented very high values.

Finally, it can be said that the shrinkage has a strong effect of volume reduction in certain mortars (MCAL) while they have a plastic state (during the first day of the drying process approximately).

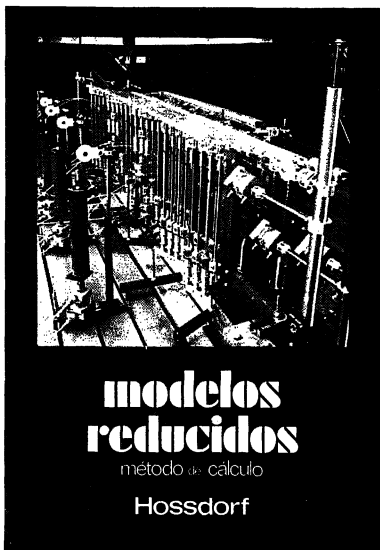
ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their gratitude to the M.E.C. (by their Statal Researchers Programme and Aids to the Exchange Programme between Industry and Public Organizations for research -type D-) and to VORSEVI S.A. Company, whose valuable assistance greatly facilitated this study.

- (3) AENOR. Norma UNE 83-821 (1992). Morteros. Métodos de ensayo. Morteros endurecidos. Determinación de las resistencias a flexión y a compresión.
- (4) FERNÁNDEZ CÁNOVAS, M.: (1984). "Patología y terapéutica del hormigón armado". Editorial Dossat S.A. Barcelona.
- (5) HUMMEL, A.: (1966). "Prontuario del hormigón". Editores técnicos asociados, S.A. Barcelona.
- (6) JIMÉNEZ MONTOYA, P.: García Meseguer, A.; Morán Cabré, F. (1991). "Hormigón armado". Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona.
- (7) JOISEL, A. (1965). "Fisuras y grietas en morteros y hormigones. Sus causas y remedios". Editores técnicos asociados, S.A. Barcelona, 167 pp.

* * *

publicaciones del IETCC/CSIC

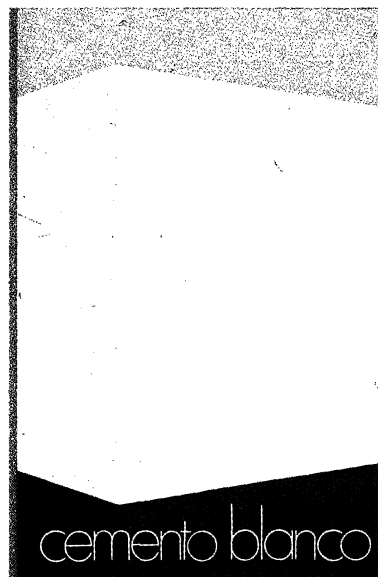


Modelos reducidos. Método de cálculo

H. Hossdorf, Ingeniero Civil

La técnica de los ensayos en modelos reducidos de estructuras sufre hoy día una decisiva metamorfosis. Hasta hace poco era un medio más bien de artesanía, que no siempre era tomado en serio por los académicos teorizantes para comprender el comportamiento resistente de las estructuras complejas y al que se acudió las más de las veces, como a un último remedio debido a sus indiscutibles insuficiencias. Sin embargo, en poco tiempo y gracias a su conexión con los ordenadores digitales, se ha transformado en un instrumento científicamente valioso, que no puede quedar a un lado en la práctica diaria del Ingeniero Projectista.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 17 x 24 cm, compuesto de 250 páginas, 158 figuras y fotografías.



Cemento blanco

Julián Rezola
Ingeniero Químico Dipl. I. Q. S.

Sabido es que existe una extensa y documentada bibliografía sobre el cemento gris: en cambio, no puede decirse lo mismo acerca del cemento portland blanco, ya que los escritos existentes se refieren tan sólo a algunas peculiaridades que le distinguen de aquél.

El autor nos ofrece sus profundos conocimientos y su larga experiencia tanto en laboratorio como en fabricación.

La parte descriptiva del libro se complementa con gráficos, diagramas y fotografías de gran utilidad, destinados a conseguir la aplicación apropiada de este aglomerante.

Un volumen encuadernado en cartón policarado, de 17,4 x 24,3 cm, compuesto de 395 páginas, numerosas figuras, tablas y ábacos.



La presa bóveda de Susqueda

A. Rebollo,
Dr. Ingeniero de Caminos

El esfuerzo del constructor de presas se sitúa, por su pretensión de perennidad, a contracorriente de las tendencias de la civilización actual, caracterizada por lo fungible. Pueden evocarse las 10.000 grandes presas en funcionamiento o en construcción que están envejeciendo y reclaman los cuidados gerontológicos para mantener y perfeccionar su servicio y garantizar su inalienable pretensión de perennidad. En la medida en que todas nuevas obras, grandes o pequeñas, son portadoras de riesgos ecológicos y, a veces, catastróficos, que aumentan con el envejecimiento, la gerontología de las presas es todo un emplazo. La acción adelantada de Arturo Rebollo en este terreno marca un camino a seguir para todos los que aman su propia obra con la devoción paternal que él ha puesto en Susqueda.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 18 x 24,5 cm, compuesto de 408 páginas, 330 figuras y fotografías y 39 tablas.