



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
DE EDIFICACIÓN



PROYECTO FINAL DE GRADO

MORTEROS AUTONIVELANTES
DE ELEVADA
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

ESCRIBANO TÉVAR, Tomás

GARCÍA ANDRÉS, Alba

DIRECTORES:

GARCÍA BALLESTER, Luis V.

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón

Valencia, Julio de 2013

RESUMEN

El objetivo de este Proyecto Final de Grado es someter a estudio diferentes formulaciones de mortero autonivelante, con la finalidad de observar cómo afectan el uso de aditivos a las propiedades principales, tanto en estado fresco como endurecido.

Se va a estudiar el comportamiento de morteros que se puedan aplicar a la producción industrial del producto, más en concreto en la ejecución de soleras con propiedades altamente conductivas.

Un mortero autonivelante es un mortero de consistencia muy fluida, que prácticamente sin ayuda puede nivelarse por si mismo y que presenta suficiente cohesión para evitar que se produzca segregación o sangrado. De esta manera, se consigue una puesta en obra fácil, pudiendo aplicarse en situaciones antes imposibles.

El estudio de morteros autonivelantes ha tenido una tendencia creciente desde la década de los 70, fecha en la que se comenzaron a desarrollar. Mayor rapidez y menor demanda de personal en el proceso, la posibilidad de fabricar elementos de formas muy difíciles y el ahorro energético unido a la mejora de las condiciones de trabajo son algunas de las ventajas de su utilización.

Para llevar a cabo este análisis, se han llevado a cabo dos líneas experimentales. Durante la primera de ellas se ha buscado una formulación que nos lleve a un valor de

escurrimiento determinado, variando la relación agua/cemento y la cantidad de aditivo superfluidificante. Numerosos factores pueden afectar el comportamiento de un aditivo superfluidificante, como por ejemplo, la finura del cemento, la cantidad de finos, la naturaleza de los superfluidificantes, la secuencia de mezclado o el tiempo de amasado.

Para la realización de la segunda línea experimental, se han realizado 6 tipos de mortero, combinando las proporciones de aditivos.

El estudio llevado a cabo incluye la optimización de los parámetros experimentales que determinan el método preparatorio y composición de los morteros. También, se han establecido un conjunto de propiedades mediante ensayos normalizados ampliamente utilizados y regulados por las Normas tecnológicas Españolas (UNE-EN).

Se han realizado probetas de mortero utilizando tres tipos de aditivos diferentes un aireante, un retardador de fraguado y un controlador de fisuración. Además se han utilizado como refuerzo, en los mismos casos, fibras multifilamento de polipropileno que evitan la fisuración y aumentan la durabilidad.

Respecto a las características en estado fresco, se ha estudiado la variación del periodo de trabajabilidad, y comprobado el escurrimiento en cada uno de los casos.

Por otra parte, el aire ocluido es un factor importante a tener en cuenta para el uso en concreto de morteros altamente conductivos, por lo que se ha comparado la cantidad de aire en diferentes morteros.

En cuanto a las características en estado endurecido, para la caracterización mecánica se han sometido las probetas a flexión con carga puntual centrada y, posteriormente, las mitades obtenidas a compresión.

Finalmente, como otra característica a resaltar de este tipo de morteros, se ha ensayado la conductividad térmica de los mismos.

Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que

RESUM

L'objectiu d'este Projecte Final de Grau és sotmetre a estudi diferents formulacions de morter autoanivellen-te calefactado, amb la finalitat d'observar com afecten l'ús d'additius a les propietats principals, tant en estat fresc com endurit.

Es va a estudiar el comportament de morters que es puguen aplicar a la producció industrial del producte, més en concret en l'execució de soleres amb propietats altament conductivas.

Un morter autoanivellen-te és un morter de consistència molt fluida, que pràcticament sense ajuda pot anivellar-se per si mateix i que presenta prou cohesió per a evitar que es produïska segregació o sagnat. D'esta manera, s'aconsegueix una posada en obra fàcil, podent aplicar-se en situacions abans impossibles.

L'estudi de morters autonivelantes ha tingut una tendència creixent des de la dècada dels 70, data en què es van començar a desenrotllar. Major rapidesa i menor demanda de personal en el procés, la possibilitat de fabricar elements de formes molt difícils i l'estalvi energètic unit a la millora de les condicions de treball són alguns dels avantatges de la seua utilització.

Posat a que les exigències d'un morter autonivelante calefactado no estan clarament definides en la normativa ha sigut necessari realitzar este projecte de manera que ens permeta obtindre el millor possible les propietats d'este material.

Per a portar acabe esta anàlisi primerament s'ha establert una dosificació que ens permeta aconseguir un morter amb un escurrimet determinat, consistència fluida utilitzant un additiu superfluïdificant. Nombrosos factors poden afectar el comportament d'un additiu superfluïdificant, com per exemple, la finor del ciment, la quantitat de fins, la naturalesa dels superfluïdificants, la seqüència de mesclat o el temps de pastat.

S'ha fabricat la dosificació triada i s'han proposat 6 tipus de morter a assajar. L'estudi dut a terme inclou l'optimització dels paràmetres experimentals que determinen el mètode preparatori i composició dels morters.

S'ha fabricat la dosificació triada i s'han proposat 6 tipus de morter a assajar. L'estudi dut a terme inclou l'optimització dels paràmetres experimentals que determinen el mètode preparatori i composició dels morters.

Respecte a les característiques en estat fresc, s'ha estudiat la variació del període de trabajabilidad, i comprovat l'escurrimet en cada un dels casos.

D'altra banda, l'aire clos és un factor important a tindre en compte per a l'ús en concret de morters altament conductivos, per la qual cosa s'ha comparat la quantitat d'aire en diferents morters.

Quant a les característiques en estat endurit, per a la caracterització mecànica s'han sotmés les provetes als assajos de flexiotracción amb càrrega puntual centrada i, posteriorment, les mitats obtingudes a compressió.

Com una altra característica a ressaltar d'este tipus de morters, s'ha assajat la conductivitat tèrmica dels mateixos.

Per a finalitzar, s'han analitzat els resultats obtinguts i arribat a unes conclusions clau per a la realització d'este tipus de morters.

ABSTRACT

The objective of this Final Project is to consider different formulations of cement screed heated, in order to observe the effect of the use of additives to the main properties, both in fresh and hardened state.

It will study the behavior of mortar that can be applied to industrial manufacture, more specifically in the implementation of highly conductive properties screeds.

An autolevel mortar is a flowing mortar consistency which can be leveled by itself and has sufficient cohesion to prevent segregation or bleeding occurs. This way, you get an easy work and can be applied in situations that you couldn't have done before.

The study of autolevel mortars had been growing since the 70s, when it began to develop. Faster and less demand for people in the process, the possibility of making difficult elements and energy saving linked to improved working conditions are some of the advantages of its use.

The requirements of a heated autolevel mortar are not clearly defined, so it has been necessary to do this project in the best way to allows us to obtain the best possible material properties.

To carry out this analysis has been established firstly a mortar with specific runoff, fluid consistency, using a superplasticizer additive. A lot of factors can affect the behavior of a superfluidifying additive.

We has been manufactured six mortar types. The study undertaken included optimization of the experimental parameters which determine the method for its preparatory and the mortarscomposition.

At the dosages taken we have used three different types of additives, one aerating, a set retarder and a cracking controller. Also, we have used, as reinforcement, in the same cases multifilament polypropylene fibers which prevents cracking and increases durability.

Regarding the characteristics fresh, we have studied the changes of the workability period and runoff checked, in each case.

Moreover, entrapped air is an important factor to consider for when we use it in highly conductive autolevel mortar, so that we have compared to the amount of air in different mortars.

Looking the characteristics in the cured state, for the mechanical characterization we have tested the test tubes with a flexiotracción centered point load and the two halves obtained we have tested as a compression test.

Another feature to consider has been the thermal conductivity.

To conclude, we have analyzed the results and conclusions to the realization of this type of mortars.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----------|
| Capítulo 1. Introducción | 5 |
| Capítulo 2. Objetivos | 7 |
| Capítulo 3. Estado del arte | 9 |
| 3.1. Introducción | 9 |
| 3.2. Morteros | 10 |
| 3.3. Mortero autonivelante | 17 |
| 3.4. Áridos | 28 |
| 3.5. Anhidrita | 35 |
| 3.6. Conductividad térmica de los morteros | 39 |
| 3.7. Aditivos | 45 |
| 3.8. Fibras | 54 |
| 3.9. Aplicación para suelo radiante | 65 |
| Capítulo 4. Plan experimental | 67 |
| 4.1. Criterios de diseño | 68 |
| 4.2. Caracterización de los componentes | 68 |
| 4.2.1 Cemento | 69 |
| 4.2.2. Áridos | 71 |
| 4.2.3. Agua | 74 |
| 4.2.4. Aditivos | 74 |
| 4.2.5. Fibras multifilamento de polipropileno | 78 |
| 4.3. Proceso de fabricación | 79 |
| 4.4. Descripción de los ensayos | 81 |
| 4.4.1. Ensayos en estado fresco | 82 |
| 4.4.2. Ensayos en estado endurecido | 88 |

| | |
|---|------------|
| Capítulo 5. Metodología experimental | 95 |
| 5.1. Proceso de fabricación | 100 |
| 5.1.1. Amasadora | 105 |
| 5.1.2. Moldes | 107 |
| 5.2. Ensayos en estado fresco | 107 |
| 5.2.1. Escurrimiento | 107 |
| 5.2.2. Periodo de trabajabilidad | 109 |
| 5.2.3. Aire ocluido | 112 |
| 5.3. Ensayos en estado endurecido | 114 |
| 5.3.1. Resistencias mecánicas | 114 |
| 5.3.2. Resistencia térmica | 117 |
| Capítulo 6. Análisis de resultados | 121 |
| 6.1. Resultados de las dosificaciones de prueba | 121 |
| 6.2. Dosificaciones adoptadas | 128 |
| 6.3. Resultados de los ensayos en estado fresco | 131 |
| 6.3.1. Ensayo de escurrimiento | 131 |
| 6.3.2. Ensayo de periodo de trabajabilidad | 135 |
| 6.3.3. Ensayo de aire ocluido | 137 |
| 6.4. Resultados de los ensayos en estado endurecido | 138 |
| 6.4.1. Ensayo de flexotracción | 138 |
| 6.4.2. Ensayo de compresión | 155 |
| 6.5. Propuesta de tipificación | 159 |
| Capítulo 7. Conclusiones | 163 |
| Capítulo 8. Futuras líneas de trabajo | 167 |
| Capítulo 9. Bibliografía | 169 |

| | |
|---|------------|
| Anejos | 175 |
| Anejo A. Glosario | 177 |
| Anejo B. Estudio de los componentes | 183 |
| Anejo C. Resultados de los ensayos de mortero fresco de las dosificaciones de prueba | 205 |
| Anejo D. Resultados de los ensayos de mortero fresco de las dosificaciones adoptadas | 215 |
| Anejo E. Resultados de los ensayos de mortero endurecido de las dosificaciones adoptadas | 241 |

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El campo de la construcción está experimentando en los últimos años una gran evolución. Coincidiendo con la especialización de soluciones técnicas para aplicaciones puntuales en obra, ha aparecido un nuevo producto que ha revolucionado el mercado: el mortero autonivelante.

El presente proyecto de fin de grado aborda el estudio de un sistema llamado “Sika ViscoMAC” compuesto de un mortero autonivelante de base cementosa y distintos aditivos, utilizado para la realización de soleras con propiedades altamente conductivas.

Cuando nos referimos a morteros autonivelantes hablamos de un material de elevada fluidez, capaces de, prácticamente sin ayuda, poder nivelarse por sí mismo sin que se produzca segregación ni exudación, ofreciendo una variedad muy alta de interesantes aplicaciones.

Los morteros deben ir acompañados de una correcta dosificación que debe tener en cuenta las características particulares del material a preparar, el tipo de elemento para el cual se va a utilizar y los métodos de control.

Como resultado de la utilización de estos morteros autonivelantes en soleras radiantes obtendremos ventajas como:

- ✓ Método de fabricación simple y eficaz, ahorro de mano de obra.
- ✓ Producto homogéneo y de calidad.
- ✓ Muy buena conductividad térmica, reduciendo los costes de consumo energético para mantener un óptimo grado de confort.
- ✓ Reducción de espesores de capa (mínimo 4cm) mejorando el recubrimiento de los tubos calefactantes debido a su fluidez.
- ✓ Rapidez de aplicación.
- ✓ Mejor rendimiento térmico de los suelos radiantes garantizando una temperatura más homogénea, un aumento de temperatura más rápido y una regulación más fina.
- ✓ Superficie plana y lisa sin necesidad de reparación posterior.
- ✓ Superficie transitable a las 24-36 horas después de su aplicación.

En resumen, la suma de todas estas ventajas, nos lleva a una clara y evidente reducción de los costes de la obra.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

El presente trabajo se ha desarrollado en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación.

Pretende estudiar cómo afecta la incorporación de los distintos aditivos a un mortero autonivelante, y cómo influye en sus principales características que interesan desde el punto de vista de su uso como revestimiento de suelo continuo calefactado.

A continuación se describen los objetivos específicos de este proyecto final de grado:

- Realizar un estudio bibliográfico sobre los morteros autonivelantes conductivos, los aditivos y el refuerzo de morteros con fibras multifilamento de polipropileno.
- Desarrollar un amplio plan experimental que permita, en un primer momento, tomar contacto con el material.
- Analizar la influencia de la composición granulométrica.
- Conseguir un mortero que sea autonivelante con los materiales de laboratorio, ajustando las dosificaciones iniciales.
- Proponer la dosificación de mortero autonivelante que sea más conveniente

por sus características.

- Analizar la influencia del aditivo superfluidificante en el caso escogido, hasta conseguir la trabajabilidad necesaria.
- Análisis de las diferentes especificaciones de los morteros, variando:
 - ✓ El aditivo aireante
 - ✓ El aditivo retardador de fraguado
 - ✓ El aditivo de control de fisuración
- Estudiar la influencia del refuerzo de los morteros con fibras multifilamento de polipropileno.
- Realización de ensayos en estado fresco: escurrimiento, tiempo de trabajabilidad y aire ocluido.
- Realización de ensayos en estado endurecido: resistencias mecánicas, flexotracción y compresión, así como resistencia térmica.

Para finalizar, se aportarán soluciones para que el momento de la puesta en obra sea exitoso y el mortero aporte las características que nos exija el proyecto.

CAPÍTULO 3**ESTADO DEL ARTE****3.1.- Introducción**

En este apartado se habla de diferentes elementos que van a componer nuestro mortero autonivelante. A base de artículos, publicaciones, e información de todos ellos.

Se realiza un estudio sobre antecedentes de todos estos materiales, formas de comportarse a la hora de realizar un mortero autonivelante, ensayos, aplicaciones, etc.

3.2.- Morteros

Rodríguez-Mora (Rodríguez-Mora, 2003) habla sobre los morteros definiendo cada una de sus características, así como ensayos para determinarlas.

Dentro de las prestaciones que ofrece un mortero se deben distinguir dos etapas diferenciadas por su estado físico, que se denominan estado fresco y estado endurecido.

La primera responde a la fase del mortero una vez mezclado y amasado. Su duración varía de acuerdo con el tiempo de fraguado requerido por la proporción que integra la mezcla, así como por la temperatura, humedad, etc. En esta etapa el mortero es plástico y trabajable, lo que permite su puesta en obra. Superada esta fase el mortero endurece hasta consolidarse. Por ello, es preciso diferenciar diversas propiedades y exigencias en función del estado en que se encuentre el mortero. Las propiedades relativas al estado fresco se relacionan con la puesta en obra e influirán principalmente en el rendimiento y la calidad de la ejecución. Los requisitos derivados, por tanto, responden a las exigencias del constructor y operarios.

Las propiedades en estado endurecido son estipuladas por las prescripciones de proyecto y por el cumplimiento de las exigencias normativas y reglamentarias. Por consiguiente, estas propiedades competen fundamentalmente a la figura del arquitecto o prescriptor, pero en nuestro caso el conseguir unas propiedades que nos lleven a un mortero autonivelante de alta conductividad térmica.

Las propiedades del estado fresco son determinantes, pues influirán en gran medida en las prestaciones finales que ofrecerá el mortero. Es necesario subrayar que las características de los morteros, tanto en estado fresco como endurecido, dependen lógicamente de su aplicación de destino, de acuerdo con la clasificación reflejada anteriormente.

Cuando nos habla de los morteros en estado fresco (Rodríguez-Mora, 2003), nos define algunas de sus características, como es el caso de la consistencia de la que nos habla que es la propiedad que define la manejabilidad o trabajabilidad del mismo. En algunos manuales se denomina plasticidad pero ésta es un grado de consistencia. La consistencia adecuada se consigue en obra mediante la adición de cierta cantidad de agua que varía en función de la granulometría del mortero, cantidad de finos, empleo de aditivos, absorción de agua de la base sobre la que se aplica, así como de las condiciones ambientales, gusto de los operarios que lo utilizan, etc. La trabajabilidad mejora con la

adición de cal, plastificantes o aireantes. Por ello para la elaboración de nuestro mortero necesitamos mejorar esta propiedad con el aporte de plastificantes y aireantes.

La consistencia se determina por la mesa de sacudidas, de acuerdo al procedimiento de la norma UNE-EN 1015-3:2000/A2:2007 (AENOR), aunque dicha norma no habla explícitamente de morteros autonivelantes. El valor viene medido por el escurrimiento (valor medio del diámetro en mm) de la probeta ensayada. En función de esta medida se distinguen tres tipos de consistencia:

| Mortero Fresco | Consistencia (Escurrecimiento en mm) | Designación |
|----------------|---|-------------|
| Seco | < 140 | S |
| Plástico | 140 a 200 | P |
| Fluido | > 200 | F |

Tabla 3.1. Consistencia según UNE-EN 1015-3

La trabajabilidad se logra con morteros de consistencia plástica, que permiten a la pasta conglomerante bañar la superficie del árido. En los otros casos se forman morteros excesivamente secos no trabajables; o bien, muy fluidos con tendencia a la segregación. Puesto que la consistencia se adquiere mediante adición de agua a la masa de arena y conglomerante, esta propiedad se relaciona directamente con la proporción agua/cemento, crucial para el completo desarrollo de las propiedades resistentes del mortero.

El exceso de agua produce frecuentemente la exudación, fenómeno por el que el agua de la parte inferior se mueve hacia arriba especialmente cuando la granulometría tiene gran porcentaje de árido grueso que se deposita en la parte inferior. El resultado es una mezcla no homogénea con una posible merma en las propiedades finales del mortero endurecido.

Sobre el tiempo de utilización o trabajabilidad nos comenta que es el tiempo durante el cual un mortero posee la suficiente trabajabilidad para ser utilizado sin adición posterior de agua con el fin de contrarrestar los efectos de endurecimiento por el principio del fraguado. Se determina conforme al procedimiento operativo de la norma UNE-EN 1015-9:2000/A1:2007 (AENOR). Responde al tiempo en minutos a partir del cual un mortero alcanza un límite definido de resistencia a ser penetrado con una sonda, referenciada en la citada norma. Todas las características del mortero en estado fresco han de mantenerse durante este tiempo.

También habla sobre el tiempo abierto, y aunque dice que principalmente se refiere a morteros cola, creemos que es fundamental en todo tipo de morteros.

El tiempo abierto se define como el intervalo máximo de tiempo en que puede efectuarse el acabado transcurrido desde su aplicación. Se mide conforme al procedimiento de la norma UNE-EN-1346:2008 (AENOR).

La densidad del mortero está directamente relacionada con la de sus materiales componentes, así como con su contenido en aire. La densidad del mortero fresco se determina conforme a la norma UNE-EN 1015-6:1999/A1:2007 (AENOR).

La presencia de iones cloruro, solubles en el agua de amasado del mortero, puede influir en el proceso de corrosión en el caso de existir armaduras, así como en la aparición de eflorescencias.

Por consiguiente, es necesario determinar su contenido para los morteros armados, conforme a la norma UNE-EN 1015-17:2001/A1:2005 (AENOR) o experimentalmente. Para estos casos, la norma UNE-EN 998-2:2012 (AENOR) establece que el contenido de estos cloruros no superará el 0,1% de la masa de la muestra en seco tomada según el procedimiento operatorio de la norma UNE-EN 1015-2:1999/A1:2007 (AENOR).

De la capacidad de retención de agua depende la trabajabilidad del mortero fresco. La retención de agua se haya íntimamente relacionada con la superficie específica de las partículas de árido fino, así como con conglomerante y, en general, con la viscosidad de la pasta. Un mortero tiende a conservar el agua precisa para hidratar la superficie de las partículas del conglomerante y árido, así como las burbujas de aire ocluido. El agua que tenga en exceso la cederá fácilmente por succión del soporte sobre el que se aplica.

Otro factor que favorece este “robo” de agua al mortero proviene de los agentes externos (temperaturas elevadas, viento, etc.). Ante estos casos es recomendable reponer el agua sustraída, mediante el curado del mortero en su proceso de fraguado.

Las propiedades del mortero fresco influirán enormemente en su comportamiento una vez esté endurecido.

La prescripción de los morteros a emplear en obra debe considerar las acciones mecánicas previstas en el proyecto, que no alcanzarán su estado límite de agotamiento. Además, deben estimarse las acciones ambientales de tipo físico o químico que puedan deteriorar el material o reduzcan su tiempo útil. (Rodríguez-Mora, 2003)

Desde su colocación existen una serie de factores que tienden a destruir el mortero. La durabilidad es la resistencia del mortero al ataque de un conjunto de agentes, tanto propios de la ejecución, como de su vida, que alteran sus condiciones físicas con el tiempo. De estas exigencias nace el estudio de las propiedades del mortero en estado endurecido.

El mortero en la mayor parte de sus aplicaciones debe actuar como elemento de unión resistente compartiendo las sollicitaciones del sistema constructivo del que forma parte. La resistencia del mortero influirá, por ejemplo, en la capacidad de una fábrica para soportar y transmitir las cargas a las que se ve sometida. Así mismo, el mortero para solados resistirá el peso de personas y enseres que se asienten sobre él.

Las resistencias a compresión y flexión del mortero se obtienen conforme a los resultados del ensayo de probetas prismáticas de 40x40x160 mm de 28 días de edad, conservadas en laboratorio según condiciones normalizadas en la norma UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007 (AENOR). Los morteros se designan según su resistencia a compresión a esta edad, medida en N/mm² anteponiéndoles la letra M.



Figura 3.2. Prensa para ensayos mecánicos



Figura 3.3. Ensayos de flexión



Figura 3.4. Ensayos de compresión

La retracción es una contracción que experimenta el mortero por disminución de volumen durante el proceso de fraguado y principio de endurecimiento. Dicha retracción es provocada por la pérdida de agua sobrante tras la hidratación del mortero.

Se ha demostrado que las retracciones son más elevadas cuanto más ricos en cemento y elementos finos son los morteros. También se ha observado que la retracción aumenta cuanto mayor es la cantidad de agua de amasado.

Se distinguen tres tipos de retracción: plástica, hidráulica o de secado y térmica.

Retracción plástica. Es una contracción por desecación durante el proceso de fraguado, cuando el mortero no es capaz de transmitir ni soportar tensiones producidas por la rápida evaporación del agua. Da lugar a una fisuración frecuentemente llamada de afojarado, caracterizada por muchas fisuras próximas que se cruzan con aspecto de piel de cocodrilo y que no llegan a alcanzar gran profundidad. A mayor dosificación de cemento mayor es el valor de la retracción plástica. La fisuración se produce fundamentalmente en elementos superficiales, de poco espesor, ante temperaturas elevadas con vientos secos y falta de curado.



Figura 3.5. Fisuración por Retracción Plástica

Retracción hidráulica o de secado. Es la contracción del mortero por evaporación del agua, que se produce al haber finalizado el fraguado. Si la retracción de secado es intensa causa un cambio volumétrico capaz de crear tensiones importantes en zonas impedidas de deformarse. Si se supera el valor de adherencia del mortero, ocasiona que los bordes de las fisuras se levanten y abarquillen.

La retracción hidráulica aumenta con:

- El espesor de recubrimiento.
- La riqueza de conglomerante del mortero y la finura de molido de éste.
- La mayor relación agua/cemento.
- La menor relación volumen/superficie.

Está influenciada también por la naturaleza de los áridos así como por las condiciones y tipo de curado empleados.

Retracción térmica. Es la contracción experimentada por el mortero, por variación en la temperatura de su masa durante el endurecimiento. Si el calor alcanzado al iniciarse el endurecimiento se debe a la reacción exotérmica de los granos de cemento, un mortero pobre, con poco cemento, sufre un incremento de temperatura inferior a un mortero con más cemento y consecuentemente menores retracciones.

La retracción se identifica por la característica fisuración errática aparecida en la superficie del mortero. Si es muy acusada puede afectar a la impermeabilidad al dejar abiertas vías de penetración del agua.

La absorción de agua afecta a los morteros que quedan expuestos directamente a la lluvia. Su importancia radica en que la absorción determina la permeabilidad de un enfoscado o del mortero que forma las juntas de una fábrica. Si el mortero es permeable al agua, transmitirá ésta hacia el interior originando la consiguiente aparición de humedades por filtración. Además, con la succión del agua exterior se favorece el tránsito de partículas o componentes no deseables para la durabilidad del conjunto constructivo, como en el caso de las eflorescencias.

La absorción depende de la estructura capilar del material, por tanto, cuanto más compacto sea un mortero, menor será la red capilar y, en consecuencia, menor absorción presentará. La incorporación de aditivos hidrofugantes, plastificantes y aireantes también contribuye notablemente a disminuir la absorción capilar en los morteros que los incorporan.

La absorción de agua para el caso de morteros sometidos directamente a la lluvia se determina por medio de la Norma Europea UNE-EN 1015-18:2003 (AENOR).

La densidad del mortero dependerá fundamentalmente de la que tengan sus componentes: arenas, adiciones, etc. También es determinante la granulometría y volumen que éstos ocupen en su dosificación. Además, incide en la densidad la relación agua/cemento del mortero. A medida que aumenta dicha relación más poroso es el mortero.

Se considera que un mortero es ligero, según la norma UNE-EN-998-2:2012 (AENOR), cuando su densidad es igual o menor que 1.300 kg/m^3 .

Para la hidratación del cemento en el mortero sería suficiente incorporarle una pequeña cantidad de agua, sin embargo, de esta forma se obtendrían consistencias demasiado secas y no trabajables. Por ello es necesaria mayor cantidad de agua de amasado que la estrictamente necesaria para el fraguado. Esto explica que, durante el fraguado y endurecimiento del mortero, se produzca una pérdida del agua sobrante, que no se combina con las partículas de cemento para la formación y endurecimiento de cristales.

De lo anteriormente comentado se deduce que, al utilizar de forma proporcional idénticas materias primas e incorporar aproximadamente la misma cantidad de agua de amasado, se observan, en general, mayores pérdidas de agua e inferiores densidades en aquellos morteros con más bajo contenido en cemento. Es lógico pensar que a menor número de partículas de cemento a hidratar mayor pérdida de agua. La pérdida de agua resulta, por lo comentado, un indicador de variaciones accidentales en el contenido de cemento en el mortero.

La densidad en estado endurecido se determina siguiendo el procedimiento operativo que figura en la norma UNE-EN 1015-10:2000/A1:2007 (AENOR).

El comportamiento térmico viene dado por la conductividad térmica del material que indica la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo por una superficie unidad del material. La conductividad depende de la densidad, porosidad, contenido de humedad, etc. En el caso de los morteros estos parámetros dependen de los componentes y proporciones que contengan siendo fundamental la densidad final de la mezcla.

Los morteros se designan por la letra M seguida de su resistencia a compresión a 28 días, en N/mm^2 , según la norma UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007 (AENOR), y por el conglomerante utilizado.

Además, en esta designación, se pueden incluir aquellas características que el responsable de la fabricación del mortero considere oportunas.

3.3.- Mortero autonivelante

El Observatorio de la Sostenibilidad en España (Anon., 2011) en su página habla del mortero autonivelante para la realización de soleras.

El mortero autonivelante para la realización de soleras es un mortero con base anhidrita en lugar de cemento, por lo que es un producto ecológico, reciclable, que evita el consumo de materias primas y emisiones de CO₂ a la atmósfera. Es la apuesta por una Construcción Sostenible, ya que, cada tonelada consumida en sustitución de una tonelada de morteros tradicionales, implica la valorización de un residuo y evita la emisión de aproximadamente 1 Tn. de CO₂ a la atmósfera y el consumo de 1,5 toneladas de diferentes recursos naturales limitados.

Por cada tonelada de anhidrita que se utiliza en sustitución del cemento, se evitarían las emisiones de CO₂ que produce un vehículo utilitario durante 1.200 km.

Este mortero se utiliza habitualmente en Europa para la realización de suelos radiantes. En Europa existe la conciencia generalizada de que el mortero va directamente ligado a la instalación del suelo radiante, ya que al igual que el radiador en los sistemas de calefacción convencionales, el mortero es el que transmite el calor en los suelos radiantes.

Este producto lo utilizan en Europa, especialmente en Alemania y Francia por sus excepcionales prestaciones técnicas y medioambientales:

- 100% autonivelante
- Espesor mínimo 2,5 cm
- Mayor conductividad térmica
- Fácil aplicación sin ser necesario silos ni sacos
- Mayor conductividad térmica que los morteros tradicionales, que junto a su fluidez que envuelve perfectamente el tubo evitando las bolsas de aire y favoreciendo la conductividad térmica, lo convierte en el mortero ideal para suelos radiantes.

- Espesor necesario por encima del tubo 30mm (frente a los 8 de morteros tradicionales) lo que reduce el espesor de capa a calentar 28N de resistencia.

La norma en Europa recomienda para suelos radiantes 5 cm de mortero, 2 cm para cubrir los tubos y otros 3 cm por encima del tubo. Nuestro mortero, permite trabajar con estos espesores sin miedo de fisuración. Por lo tanto, al necesitar menor espesor de capa supone un menor consumo de energía.

Tan solo son necesarias juntas de dilatación más cada 300 m² en suelos radiantes y cada 1.000 m² e recrecidos normales. Es prácticamente líquido y se aplica por bombeo, pudiéndose hacer superficies de 1.000m² en un día con tres operarios. Es 100% autonivelante y el acabado final es de una planimetría excepcional, facilitando la colocación de cualquier tipo de revestimiento.

En 24 o 48 horas el recrecido ya está quieto y no sufre ningún cambio ni movimiento, por lo que evita la aparición posterior de grietas o fisuras (no tiene microfisuración) que luego se reflejan en el revestimiento. Por lo tanto, es la solución constructiva perfecta para dejar suelos vistos, con resinas, PVC o vinilo. Para un espesor de 5 cm, se puede colocar tarima en un mes y una semana, lo que acelera sustancialmente los tiempos de la obra.

En un estudio nos habla del mortero de anhídrita como un recurso sostenible. (Machín Terán, 2010)

“...a pesar de los espectaculares progresos en el conocimiento de los materiales en los últimos años, el reto de la disciplina de Ciencia e Ingeniería de los Materiales sigue siendo -por lo que a materiales de construcción se refiere- el desarrollo de materiales con criterios o parámetros de sostenibilidad ambiental, esto es, el empleo de materiales cuyos procesos de extracción y fabricación o producción supongan un ahorro energético y procedan de recursos renovables, así como la reutilización y el reciclado de los materiales existentes...”. (Arenas Cabello, 2008)

Cáscara de arroz, conchas marinas, residuos de industrias como la azucarera, maderera o papelera, ya se utilizan en la fabricación de materiales de construcción en general y en los morteros y hormigones en particular. Las ventajas ecológicas son claras: se evita el vertido de residuos, se reduce la extracción de las canteras, se ahorra energía y disminuyen las emisiones de CO₂.

Entre los residuos que se incorporan a nuevas formulaciones para la obtención de morteros más ecológicos y sostenibles, está la anhidrita, sulfato cálcico que proviene de la industria del flúor.

El sulfato cálcico puede encontrarse en distintas fases. La más conocida es la fase dihidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que abunda en la naturaleza y recibe el nombre de yeso. Así se denomina no sólo al mineral (piedra de yeso o aljez) sino también al material de construcción resultante de mezclar aljez cocido y agua, en la proporción adecuada, y que fragua en contacto con el aire.

Al calentar el yeso dihidrato por encima de 100°C pierde agua, y se obtiene sulfato cálcico hemihidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, en dos formas diferentes alfa y beta. Si se sigue calentando el hemihidrato llegaríamos a obtener el sulfato cálcico anhidro ó anhidrita. El término escayola designa a un sulfato cálcico hemihidrato de alta blancura y finura.

Tanto la anhidrita como el semihidrato alfa ó el beta son productos capaces de fraguar al mezclarse con agua, no obstante, cada uno de estos productos lo hace de distinta manera obteniéndose propiedades finales diferentes.

Como hemos visto, la anhidrita puede fabricarse por calcinación del dihidrato aunque también existen yacimientos naturales y, finalmente, se puede obtener como coproducto en la fabricación de ciertos compuestos químicos como puede ser el ácido fluorhídrico.

Las materias primas utilizadas para la fabricación del ácido fluorhídrico son el espato flúor (CaF_2) y el ácido sulfúrico (H_2SO_4). Como resultado de la reacción de estas materias primas, se obtienen el ácido fluorhídrico y la fluoroanhidrita o anhidrita sintética (CaSO_4). Son múltiples las aplicaciones y los procesos en los que el fluorhídrico es imprescindible; desde la fabricación del Teflón® y el Gore-tex®, pasando por medicamentos y pastas de dientes con flúor, hasta las células fotovoltaicas de las placas solares. Sin embargo, la anhidrita es un residuo que durante años no ha tenido ninguna aplicación clara. Se ha estado utilizando como aditivo regulador de fraguado para cementos o en la inertización de residuos, aunque gran parte de este producto ha terminado depositado en vertederos como residuo inerte.

Pero, como resultado de la investigación, se consigue desarrollar un proceso donde, a partir de la anhidrita de la industria del flúor, se obtiene un ligante para la elaboración de morteros autonivelantes como alternativa a los convencionales a base de cemento.

El ecomortero o mortero de anhidrita, está formulado a base de agua, áridos y anhidrita como ligante y se emplea para la ejecución de soleras en interior. Entre sus características técnicas cabe destacar que, además de ser totalmente autonivelante, tiene unas resistencias mecánicas de más de 20 N/mm² a compresión y más de 4 N/mm² a flexión. Se aplican espesores desde 30 hasta 60 mm. Apenas tiene retracción (menor de 0.02 mm/m) y la superficie de la solera queda libre de polvo. No requiere de juntas de dilatación en superficies menores de 1000 m² o 45 metros lineales y 300 m² o 25 metros lineales si se ejecuta sobre sistemas de calefacción radiante.

La elaboración del mortero autonivelante de anhidrita se realiza bajo las directrices de la norma UNE EN 13813:2003 (AENOR) donde se fijan las características y especificaciones que deben cumplir las pastas autonivelantes.

En cuanto al sistema de aplicación, el ecomortero se fabrica en planta de hormigón y se transporta a la obra en cuba amasadora donde es bombeado y aplicado mediante manguera. Con este sistema de aplicación, se obtienen rendimientos de hasta 1.000 m² al día en obras diáfanas.

En los últimos años la industria del cemento ha desarrollado una importante labor en el desarrollo de sistemas que contribuyan a una producción más eficiente y sostenible. Aun así, la producción de una tonelada de cemento implica:

- La emisión de unos 700 kg de CO₂, procedente principalmente de la descarbonatación de las materias primas (caliza y magnesita ó dolomía) y de la combustión de los carburantes en el horno de clínker.
- La utilización de más de 1,5 toneladas de materias primas y
- Un consumo energético aproximado de unos 3.500 MJ/ton.



Figura 3.6. Transporte del mortero a obra



Figura 3.7 .Bombeado y aplicación mediante manguera

El proceso para la obtención del ligante de anhidrita a partir del residuo de fabricación del ácido fluorhídrico tiene un consumo energético de unos 60 MJ/ton, una emisión de dióxido de carbono prácticamente nula y no son necesarios nuevos recursos minerales para su fabricación.

En el año 2008 se consumieron en España cerca de 421 millones de toneladas de cemento y se produjeron unos 0,2 millones de toneladas de anhidrita de la industria del flúor. La utilización de la anhidrita en la elaboración de morteros autonivelantes podría haber evitado la emisión de unas 70.000 toneladas de CO₂ a la atmósfera.

El mortero autonivelante de anhidrita puede aplicarse por sus características en diferentes soluciones constructivas. Sobre aislamientos acústicos y/o térmicos, cumpliendo el código técnico de la edificación. En rehabilitaciones y grandes superficies y sobre suelos radiantes.

Como se ha comentado anteriormente, el mortero de anhidrita es muy fluido por lo que envuelve perfectamente los tubos de la calefacción radiante, de manera que no queda aire ocluido que pueda dificultar la transmisión del calor. Para esta aplicación se ha desarrollado un mortero especial con propiedades térmicas mejoradas: mayor conductividad térmica (2,02 W/K m) y menor calor específico (950 J/Kg. ° C). La conductividad térmica del ecomortero (un 40% más elevada que la de un mortero tradicional) contribuye al ahorro energético ya que el calor se transmite más fácilmente. Visto de otro modo, se necesita menor temperatura del agua del circuito de calefacción para obtener la misma temperatura ambiente. Por lo tanto, el gasto de energía es menor.



Figura 3.8. Aplicación por bombeo de mortero autonivelante con anhidrita



Figura 3.9. Acabado pavimento con mortero autonivelante

Existen varias vías para la optimización de una instalación de suelo radiante. Una de las más eficaces, y a veces menos empleada, es la utilización del mortero adecuado. Los morteros autonivelantes de anhidrita pueden cumplir esta función al presentar una elevada conductividad calorífica y poder ser aplicados en el mínimo espesor especificado por la norma UNE EN 1264 (AENOR). (Peña, 2012)

Aunque en su apartado 3.10 la norma UNE EN 1264-1:2012 (AENOR) enumera los componentes de un suelo radiante (Tabla 3.10.), cuando se realiza el diseño de una instalación se suele centrar la atención en algunos factores, como puede ser el tipo de tubo, el paso, etc., dejando otros, que son igualmente importantes, al margen.

Uno de los grandes olvidados es el mortero que se aplica por encima de los tubos. Como la mencionada norma indica, la función de este elemento, aparte de la mecánica, es la de actuar como capa de distribución y emisión de calor. De nada servirá la mejor instalación de suelo radiante si luego se aplica un mortero con baja conductividad térmica (aislante) o en gran espesor. El resultado será un suelo radiante ineficaz y caro de utilizar.

En este artículo se expone un caso práctico de cómo la elección de uno u otro mortero marcará grandes diferencias en el consumo, y, por lo tanto, en el coste de operación de la instalación.

| |
|---|
| Capa de aislamiento |
| Capa de protección |
| Tubos de calefacción |
| Capa de distribución y emisión de calor (placa) |
| Revestimiento del suelo |

Tabla 3.10. Componentes de un suelo radiante

La denominada capa de distribución y emisión de calor es, en realidad, el mortero que cubre los tubos de la instalación radiante y sirve como soporte al revestimiento final. La norma UNE EN 1264-4:2010 (AENOR) exige que tenga una resistencia mecánica a compresión superior a los 20 N/mm², y un espesor mínimo de 30 mm.

En cuanto a sus propiedades térmicas, son dos las variables fundamentales a la hora de optimizar la instalación radiante: alta conductividad térmica y mínimo espesor. Aunque todavía se ven instalaciones con morteros convencionales, los morteros de anhidrita se están imponiendo como la solución idónea para estos sistemas de calefacción, sus características son:

- Elevada conductividad calorífica. Se trata de morteros de gran fluidez (morteros autonivelantes) donde las burbujas de aire salen y no quedan atrapadas en la masa. La eliminación del aire ocluido (uno de los mejores aislantes que existe) permite que la conductividad calorífica sea más alta que con soluciones tradicionales.
- Mínimo espesor. Hace años era común encontrar instalaciones de suelo radiante con espesores de 8 cm, 10 cm e, incluso, superiores. Esto se debía al temor de que los morteros aplicados (de baja resistencia) no fueran capaces de soportar la carga aplicada y la capa se fracturase. Con los morteros de anhidrita, de elevada resistencia mecánica, podemos aplicar capas desde el espesor mínimo fijado por la norma (3 cm).

Un consejo importante, a la hora de ejecutar una instalación de suelo radiante, es tener prenivelado el soporte de esa instalación antes de colocar las placas de aislamiento. Esto permitirá que el espesor de mortero que se aplique por encima de los tubos sea homogéneo, con lo que la emisión de calor será también uniforme en toda la instalación y, además, disminuirá el consumo de energía. El caso contrario es tener un soporte desnivelado donde en unas zonas exista el espesor de diseño, por ejemplo 4 cm, y en otras zonas haya espesores de 8 o 10 cm. En ese caso es posible encontrar zonas bien aclimatadas (las de bajo espesor) y zonas "frías" (alto espesor). Asimismo, el consumo energético de la instalación será más alto.

Calculó el ahorro energético (Peña, 2012) obtenido en una instalación de suelo radiante variando únicamente el tipo de mortero empleado. Para ello realizó una comparativa entre un mortero convencional aplicado en el espesor habitual (10 cm) frente a un mortero de anhidrita, de alta conductividad, aplicado en un espesor de 4 cm.

Realizó el cálculo realizando siguiendo las directrices marcadas en la norma UNE EN 1264 (AENOR) (Calefacción por suelo radiante) y en el documento técnico de la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (Atecyr) DTIE 9.04: Sistemas de suelo radiante. Los datos empleados para el cálculo aparecen en la Tabla 3.11.

El método de cálculo que (Peña, 2012) seleccionó se basa en determinar, con los datos definidos anteriormente, la temperatura de impulsión del agua. Posteriormente, con este dato y el área de la superficie a calefactar, calcula el consumo energético de la instalación.

| | |
|---|------------------|
| Densidad de flujo térmico (W/m ²) | 90 |
| Configuración | Tipo A |
| Acabado superficial | Baldosa cerámica |
| Separación entre tubos (m) | 0,2 |
| Diámetro exterior de la tubería (cm) | 2 |
| Salto térmico (°C) | 5 |
| Superficie a calefactar (m ²) | 100 |
| Ciudad | Bilbao |
| Rendimiento o COP del equipo | 4 |

Tabla 3.11. Parámetros utilizados en el estudio

| | Mortero convencional e= 10 cm | Mortero de Anhidrita e = 4cm |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Temperatura de impulsión (°C) | 49,4 | 41 |
| Consumo total de energía (kWh) | 23.232 | 18.232 |

Tabla 3.12. Resultados del estudio

Del anterior estudio (Peña, 2012) sacó alguna de las siguientes conclusiones.

Cuando se diseña una instalación de suelo radiante es importante tener en cuenta todos los elementos que componen el conjunto. Las medidas que se tomen en la fase de diseño y ejecución estarán presentes durante toda la vida de ese suelo radiante, y supondrán un ahorro o un gasto que se repetirá año tras año.

En el caso presentado se ha visto que el simple hecho de sustituir un mortero convencional por un mortero de anhidrita en una vivienda de 100 m² podría suponer un ahorro de hasta 750 € al año. Si ese ahorro se multiplica por todos los años de vida útil de la instalación, es fácil comprobar que hay mucho dinero en juego.

NOMENCLATURA MORTEROS AUTONIVELANTES

NORMA UNE-EN 13813:2003 (AENOR)

La normativa relativa a los morteros autonivelantes nos va a dar una clasificación y denominación de éstos, según el siguiente extracto de la citada norma. En el proyecto de norma UNE-EN 13892-1:2003 (AENOR) se define para cada tipo de conglomerante el tiempo necesario para obtener las prestaciones. En el caso de que el fabricante pueda demostrar que las clases de características especificadas se puedan conseguir en menos tiempo, se deberá incluir este tiempo en la designación asumiendo que todos los valores declarados de clases se obtienen en este tiempo.

Resistencia compresión

El fabricante debe declarar la resistencia a compresión de las pastas autonivelantes de cemento, de sulfato de calcio y de magnesita, y podrá declarar la de las pastas autonivelantes de resina sintética. La resistencia a compresión se debe determinar según lo indicado en el proyecto de norma UNE-EN 13892-2:2003 (AENOR).

La resistencia a compresión se debe indicar con una "C" (Compresión) seguida de la clase de resistencia compresión en N/mm², según lo indicado en la tabla 3.13.

| Clase | C5 | C7 | C12 | C16 | C20 | C25 | C30 | C35 | C40 | C50 | C60 | C70 | C80 |
|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Resistencia a compresión en N/mm ² | 5 | 7 | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |

Tabla 3.13. Clases de resistencia a compresión para pastas autonivelantes

Resistencia a flexión

El fabricante debe declarar la resistencia a flexión de las pastas autonivelantes de cemento, sulfato de calcio y magnesita. La resistencia a flexión se debe determinar según el proyecto de norma UNE-EN 13892-2:2003 (AENOR). El fabricante puede declarar la resistencia a flexión de las pastas autonivelantes de resina sintética. La resistencia a flexión de pastas de resina sintética se debe determinar según la norma UNE-EN ISO 178:2011

(AENOR) para las pastas autonivelantes que vayan a ser aplicadas con un espesor de 5 mm o inferior, y según el proyecto de norma UNE-EN 13892-2:2003 (AENOR) para las otras pastas autonivelantes. La resistencia a flexión se indica con la letra “F” (Flexural) seguida de la resistencia a flexión en N/mm² según la tabla 3.14.

| Clase | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F10 | F15 | F20 | F30 | F40 | F50 |
|--|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Resistencia a flexión en N/mm ² | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 |

Tabla 3.14. Clases de resistencia a flexión para pastas autonivelantes

PRESCRIPCIÓN DE MORTEROS AUTONIVELANTES

- Revestimiento flotante y soporte de polietileno: Mortero Autonivelante \geq C20.
- Revestimiento flotante, soporte de hormigón y espesor \geq 40 mm.: Mortero Autonivelante \geq C12.
- Revestimiento flotante, soporte de hormigón y espesor 30 - 40 mm.: Mortero Autonivelante \geq C20.
- Revestimiento adherido y soporte de polietileno: Mortero Autonivelante \geq C20.
- Revestimiento adherido, soporte de hormigón y espesor \geq 40 mm.: Mortero Autonivelante \geq C12.
- Revestimiento adherido, soporte de hormigón y espesor 5 - 40 mm.: Mortero Autonivelante \geq C20.
- Revestimiento calefactado (suelo radiante): Mortero Autonivelante \geq C20.
- Revestimiento sobre capa de separación, soporte de polietileno y espesor \geq 40 mm.: Mortero Autonivelante \geq C12.
- Revestimiento sobre capa de separación, soporte de polietileno y espesor 30 - 40 mm.: Mortero Autonivelante \geq C20.
- Revestimiento visto y soporte de polietileno u hormigón: Mortero Autonivelante \geq C25.

3.4.- Áridos

(O.A. Cabrera, 2010), nos habla sobre la fluidez de los morteros cementíceos con arenas machacadas (Flowability in crushed sand mortar)

El empleo de arenas machacadas o de machaqueo o trituradas tiene una marcada influencia sobre la fluidez de los morteros y del hormigón debido a las características morfológicas de las partículas y al contenido de polvo que presenta este tipo de árido fino.

La forma y textura de las partículas del árido fino pueden ser evaluadas por dos tipos de métodos: unos basados en la observación y medición individual de las partículas, y otros, en la medición de alguna propiedad del material granular. En este último grupo se encuentra la determinación del porcentaje de vacíos entre partículas, el factor de empaque, la medición del tiempo que tarda en fluir el material granular a través de un orificio, etc. Además, se debe tener en cuenta la vigencia en la bibliografía de la aseveración de B. Mather, respecto a que existen pocos trabajos que vinculan los métodos de evaluación de la forma y textura superficial con el comportamiento en estado fresco de morteros y hormigones.

La elección de un método de ensayo depende del tamaño de las partículas, por lo que en los áridos gruesos el ensayo sobre partículas resulta adecuado, mientras que los métodos que utilizan el material a granel son prácticos, tanto para árido grueso como para el fino. La mayoría de los ensayos diseñados para áridos finos se basan en la medición del contenido de vacíos entre granos, y dos de ellos han sido normalizados por la ASTM.

Este tipo de ensayo muestra sensibilidad ante los cambios de forma y textura; y junto a clasificaciones descriptivas, como la establecida en la Norma BS 882 (1992), resultan adecuados para ser empleados en el campo de la tecnología del hormigón. El ensayo descrito en la norma ASTM C-1252 (2003) presenta la posibilidad de efectuarlo usando una granulometría constante e igual para varios áridos finos a fin de comparar su angularidad, e independizar el resultado de la distribución de tamaños.

Existen otros métodos con un grado mayor de sofisticación que emplean tomografía computada, microscopio electrónico de barrido, láser, procesamiento de imágenes, redes neuronales, fractales, o midiendo la resistencia al corte, etc., los que pueden resultar adecuados para trabajos de laboratorio pero son complejos para aplicar en obras. En general, el empleo de estos métodos se ve dificultado porque los mismos no han sido correlacionados con los métodos normalizados.

En cambio, en la bibliografía referida a las mezclas asfálticas aparece una importante información sobre métodos para evaluar la forma y textura del árido fino que se utilizan en el diseño de mezclas asfálticas. En este caso es necesario que el material mantenga su rigidez y resista el ahuellamiento (surco longitudinal a lo largo del camino bajo las bandas de circulación vehicular), y por ello la forma de las partículas del árido fino desempeña un rol más importante que la del árido grueso. El empleo de arenas naturales tiende a reducir la resistencia a la deformación permanente de las mezclas asfálticas.

A parte de la finura de los granos, las formas y texturas que se alejan de redondeada y lisa, incrementan el consumo de agua y/o pasta para alcanzar una determinada trabajabilidad. El incremento de la irregularidad de los granos lleva a un aumento en el número de puntos de contacto entre las partículas, disminuyendo el empaquetamiento del material granular, incrementando el contenido de vacíos, y por ello, el volumen de pasta de cemento necesario para rellenarlos.

Respecto al contenido de polvo, en el caso de que el mismo no sea plástico, se incorpora a la pasta de cemento, actuando como un filler. Trabajos previos muestran este efecto filler se manifiesta con polvos de diferentes orígenes mineralógicos, provocando el incremento de la resistencia mecánica a tempranas edades.

Por otra parte, el estado fresco de los morteros y hormigones se caracteriza por ser una suspensión acuosa con una muy alta concentración de partículas de diferentes tamaños y densidades, y se representa por el modelo de Bingham. En este modelo se definen dos variables para describir el comportamiento del "fluido", el umbral de cizallamiento y la viscosidad plástica, y general los ensayos disponibles evalúan una sola de ellas. La pasta de cemento lubrica, separa y a su vez mantiene unidas a las partículas de áridos. Entre las partículas se desarrollan tres tipos de fuerzas: las de gravedad que tienden a sedimentar los sólidos, las de atracción capilar debidas a la tensión superficial del agua en la red de capilares y las de Van der Waals que son de origen electrostático que pueden ser de atracción o de repulsión. La reología de la pasta es además particularmente compleja porque los granos de cemento poseen carga eléctrica sobre su superficie que tienden a formar grumos y no se dispersan fácilmente en agua; y también, porque durante y después del mezclado ocurren reacciones químicas y físicas que van incidiendo sobre el estado fresco de la mezcla.

Los ensayos desarrollados, siguiendo el modelo de Bingham, para describir la trabajabilidad de las mezclas puede considerarse deficiente en cuanto a que no poseen la sensibilidad suficiente para abarcar el rango existente entre consistencias secas y fluidas.

Además, este tipo de ensayos no resultan ser baratos ni fáciles de llevar a obra, y su empleo no está ampliamente difundido. Además, resulta casi imposible relacionar los resultados obtenidos en los diferentes métodos, y estos resultados obtenidos deben interpretarse en el contexto de cada método dado que los valores absolutos de los parámetros reológicos dependen del tipo de instrumento utilizado.

Por tal motivo, en el presente trabajo se valora la vinculación entre la fluidez de los morteros y el contenido de vacíos entre las partículas de arena para comprender la influencia de la forma, textura y del contenido de polvo de diferentes tipos de arenas machacadas sobre el estado fresco, empleando una metodología sencilla y económica.

Se evaluará la forma en que el contenido de vacíos se relaciona con el contenido de pasta para lograr el inicio de la fluidez del mortero y con el modo de escurrimiento posterior. Los comportamientos evaluados por este trabajo se comparan con el propuesto para hormigones con arenas naturales por F. de Larrard. En este último modelo se establece el espesor máximo de pasta cementícea, e_m , como una función de la concentración relativa de sólidos; y para un determinado volumen de pasta el espesor de la misma será mayor cuando las partículas tiendan a ser más esféricas, y de este modo las partículas se moverán más libremente. Además, la resistencia del hormigón o mortero se incrementa con el decrecimiento de e_m .

Para este estudio se elaboraron dos series de morteros utilizando cuatro arenas machacadas de diferentes orígenes mineralógicos (calcítico, cuarcítico, dolomítico y granítico) con similares granulometrías y contenido de polvo, y un cemento portland fillerizado. La dosificación de cada serie de morteros se basó en distintas relaciones pasta cementícea/árido fino (p_c/a_f), compuesta por una cantidad constante de arena (1.500 gramos) con la posterior adición de distintos volúmenes de pasta (V_p).

La presente metodología experimental ha sido empleada previamente en morteros elaborados con arenas de partículas angulares y textura rugosa, donde las mismas se reemplazaron por partículas redondeadas y lisas en porcentajes de 0, 25, 50, 75 y 100. Dichas experiencias han mostrado como influyen las diferentes variables en el comportamiento reológico de los morteros, y ahora, en el presente trabajo se amplían los estudios para evaluar el comportamiento con arenas machacadas de diferentes mineralogías.

Con este estudio se obtienen varias conclusiones. El contenido de agua, la relación a/c , y la razón árido/cemento son los principales factores que influyen sobre la trabajabilidad

y la fluidez de los morteros, y están íntimamente relacionados entre sí. El agua es la principal factor que gobierna la trabajabilidad y un incremento de la misma para producir mezclas trabajables no sólo afecta a la resistencia al incrementar la porosidad, sino también favorece la segregación y exudación, y disminuye la durabilidad del material. La relación a/c indica la viscosidad o la capacidad de lubricación de la pasta cementícea. En casos extremos, la pasta muy fluida puede segregarse del árido, o sino, pastas muy secas no alcanzan a cubrir las partículas resultando mezclas sin cohesión. En cambio, la razón árido/cemento determina la separación entre las partículas de árido, cuanto menor sea esta relación existirá una menor fricción entre ellas que favorecerá la compactación. Además, sobre la trabajabilidad influyen las características físicas de los áridos (especialmente en los áridos de machaqueo), el tipo y finura del cemento, la presencia de aditivos, etc.

(O.A. Cabrera, 2010) explica la influencia del tipo de arena sobre la fluidez de los morteros. Al hacer el estudio observa que el volumen de pasta de cemento para el comienzo del escurrimiento del mortero como un material continuo y sin oquedades, presenta diferencias relacionadas con las formas y texturas de las partículas, y los contenidos de polvo de los áridos finos.

Los morteros con arena calcítica (caliza) resultan menos consistentes, y los que contienen arena dolomítica (con mayor angularidad) poseen una menor facilidad de escurrimiento, pudiéndose asociar estas diferencia también a las características físicas de las partículas y al tipo y finura del polvo de roca que contienen.

Cuando (O.A. Cabrera, 2010) para explicar la relación entre la fluidez y el grado de colmatación nos dice que para relativizar y comparar el comportamiento de los morteros en su estudio, y poder determinar el esquema de movilidad de los mismos, los volúmenes de pasta se refirieren al volumen de vacíos correspondiente a 1.500 gramos de arena suelta. Esta relación puede denominarse grado de colmatación del mortero, G_{Cm} , y representa el grado de llenado de los vacíos entre partículas de arena o el exceso de pasta (overfill) en caso que la misma supere el mencionado contenido de vacíos.

Este análisis indica que el contenido de agua y la cantidad de materiales finos ($< 75 \mu m$) influye en la reología del mortero de modo que cuanto mayor es la relación $a/(c+p)$, mayor es el poder lubricante. Y se destaca para las dos series de morteros el importante rol que cumple en la reología del mortero el volumen de vacíos de la arena. Observándose que una vez que se cubrió con pasta el volumen de vacíos de la arena los incrementos de pasta, proporcionales al volumen de vacíos, tienen una influencia prácticamente similar en la fluidez independientemente del tipo mineralógico de arena machacada utilizada.

Los estudios y experiencias realizadas brindan una importante información sobre la reología de los morteros en estado fresco cuando se trata de arenas machacadas con granos de diferentes formas y texturas, acompañados por un contenido no despreciable de polvo. Además, resulta significativo el rol del contenido de vacíos de la arena en la reología de la mezcla.

La influencia de la relación pasta/árido sobre la reología de la mezcla se puede analizar determinando el espesor promedio de la película de pasta lubricante, que envuelve a las partículas.

En ese mismo sentido, y en la búsqueda de optimizar las mezclas de hormigones de alta resistencia, entre otras variables se ha estudiado la influencia del exceso de pasta (overfill) y del espesor de la pasta sobre la resistencia.

La optimización de las mezclas está dirigida a incrementar la resistencia mecánica y la estabilidad volumétrica, y a reducir el costo del hormigón.

Al aplicar el modelo de F. de Larrard (1994) a los morteros elaborados con arenas machacadas, en el caso de los morteros con relación a/c 0,40 muestra que cada tipo de arena necesita un mínimo valor del espesor máximo de pasta para comenzar a fluir. Después, una vez que la pasta cubrió las partículas los incrementos de pasta tienen efectos similares, independientemente del tipo de mineralogía.

De las arenas machacadas, la forma y textura y el contenido de polvo, inciden fuertemente en el estado fresco de las mezclas. En todos los casos no siempre estas dos variables tienen igual peso relativo. El volumen de pasta para que el mortero comience a fluir como un cuerpo continuo cuando las arenas de diferentes orígenes minerales contienen polvo, es diferente en cada caso y tiene una marcada relación con la superficie específica del árido.

En cambio, el espesor máximo de pasta es prácticamente independiente del origen mineralógico, es decir, que el espesor de pasta debe tener un valor aproximadamente igual para comenzar a fluir, por el hecho de que las partículas menores de 75 μm en las proporciones que se encuentran en estas arenas repercuten muy fuertemente sobre el valor de la superficie específica.

En cambio, cuando se considera a las arenas sin el polvo, el volumen de pasta+polvo para iniciar el escurrimiento tiende a ser similar, es decir, que se encuentra más vinculado con la angularidad de la arena que con la superficie específica. Sin embargo, los

correspondientes espesores máximos de pasta son diferentes, y los mismos se vinculan con la angularidad de la fracción de la arena sin polvo. Los morteros con arena dolomítica presentan un comportamiento diferentes a las restantes arenas que puede ser atribuido al mayor contenido de partículas elongadas que poseen. Además, la angularidad se relaciona directamente con el contenido de vacíos, y a medida que se incrementa la angularidad el mismo valor de volumen genera diferentes espesores de pasta por la superficie a cubrir.

Según el estudio (O.A. Cabrera, 2010) explica que a igual contenido de agua, los morteros con arena calcítica resultan ser los más fluidos, y los que contienen arena dolomítica, los más consistentes. La forma de las partículas y el contenido y la finura del polvo marcan las estas diferencias. Los morteros elaborados con las arenas graníticas y cuarcítica tienen un comportamiento intermedio. La forma, la textura y el contenido de polvo de las arenas influyen sobre el umbral del contenido de agua para iniciar el escurrimiento de los morteros, y que los incrementos posteriores, tienen un efecto similar en todas las mezclas independientemente de las características de las arenas.

Conforme se incrementa la angularidad de los granos de arena el contenido de agua resulta mayor.

Según las tendencias observadas en el estado fresco de morteros mediante el análisis efectuado indican que la metodología experimental empleada resulta una herramienta importante para describir el comportamiento y la influencia de las principales variables que gobiernan el escurrimiento del material. De acuerdo con los estudios y experiencias realizados (O.A. Cabrera, 2010) efectúa las siguientes consideraciones sobre el comportamiento de morteros con arenas machacadas de diferentes mineralogías:

- La metodología experimental empleada para describir el estado fresco de los morteros cuando se utilizan diferentes arenas machacadas, brinda una importante información para comprender la influencia de los distintos factores que intervienen. (porcentaje de vacíos de la arena, volumen de pasta necesaria para iniciar el escurrimiento del mortero, contenido de agua, espesor máximo de pasta que rodea a los granos de la arena, etc.).

- Para una determinada relación a/c o $a/(c+p)$, una vez que se cubrió con pasta el volumen de vacíos de la arena, la reología de los morteros en estado fresco con diferentes arenas machacadas es similar. A partir de allí, todo incremento de pasta proporcional al volumen de vacíos de la arena tiene una influencia similar en la fluidez, independientemente de la forma y textura de las partículas de la arena.

- Existe una relación entre el contenido de vacíos de la arena y el contenido de agua de los morteros para alcanzar una determinada fluidez, a mayor contenidos de vacíos se observa un incremento en el contenido de agua.

- El polvo de roca con bajo índice de plasticidad que contienen las arenas machacadas pueden tener un efecto positivo sobre el estado fresco de los morteros ya que se incrementa el volumen de “pasta”, separando las partículas y reduciendo la fricción entre ellas. Al considerar al polvo como integrante de la pasta, para el caso de diferentes arenas machacadas, el volumen necesario para iniciar la fluidez como una masa continua es prácticamente igual en todos los casos. En cambio, el espesor máximo de pasta es notablemente diferente, hecho que se vincula a la angularidad de cada arena.

- Complementariamente puede plantearse que el modelo del espesor máximo de pasta de F. de Larrard (1994) permite mejorar el entendimiento del estado fresco de los morteros, y especialmente la influencia que tiene la angularidad y el contenido de polvo del árido fino.

3.5.-Anhidrita

En la página web de Anhidrita (Anon., 2012) habla sobre la anhidrita, propiedades, obtención, etc.

La anhidrita es una alternativa, medioambientalmente sostenible, al cemento para la elaboración de morteros autonivelantes.

Químicamente, la anhidrita es un sulfato cálcico (CaSO_4). A diferencia de otros minerales semejantes, como puede ser el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), la anhidrita no contiene agua en su estructura cristalina, es decir, se trata de un compuesto anhidro. Esta particularidad, así como su específica configuración cristalina, determinarán sus propiedades finales.

Aunque la anhidrita es un mineral que también se encuentra en la naturaleza en forma de yacimientos, actualmente se obtiene como subproducto de ciertos procesos industriales, de ahí su origen sostenible.

La principal característica de la anhidrita es su capacidad de fraguar al entrar en contacto con el agua. Por lo tanto se pueden realizar morteros de construcción sustituyendo los aglomerantes tradicionales (cemento) por anhidrita. Los morteros así elaborados tienen alguna diferencia con los convencionales: son productos muy fluidos (incluso autonivelantes) conservando una elevada estabilidad dimensional y altas resistencias mecánicas.

Es un producto novedoso en España. En Europa se viene utilizando desde hace más de 40 años. En mercados como el alemán ó el francés se utilizan más de 300.000 tm/año de este producto para la fabricación de morteros autonivelantes. Actualmente España exporta más de 150.000 tm anuales de anhidrita a estos países.

Una propiedad muy importante es su baja retracción, esto permite utilizar morteros de anhidrita para elaborar superficies de hasta 1.000m² sin juntas.

Gracias a la posibilidad de elaborar soleras con espesores mínimos (desde 3 cm) se pueden utilizar los morteros de anhidrita en rehabilitación de inmuebles con una baja pérdida de altura habitable.

La resistencia de los morteros de anhidrita (superior a 20 N/mm²) permite la ejecución de recredos desolidarizados sobre cualquiera de los aislamientos térmicos y/o acústicos empleados habitualmente.

El sistema de calefacción radiante requiere un mortero que transmita rápida y eficazmente el calor a la habitación. En este caso, los morteros de anhidrita cumplen a la perfección con esta aplicación. Para más información vea el apartado de eficiencia energética.



Figura 3.15. Vertido de mortero autonivelante de anhidrita por bombeo

La sostenibilidad de la anhidrita viene determinada por su origen. Se trata de un subproducto industrial que es aprovechado para la fabricación de un aglomerante, en sustitución del cemento, en la elaboración de morteros.

Se realizó, en colaboración con las aulas de Ecodiseño de la Universidad del País Vasco, un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para estudiar el impacto que tenía la anhidrita y el mortero de anhidrita en comparación con un cemento convencional y su mortero.

Los resultados fueron concluyentes, la sustitución de morteros tradicionales de cemento por morteros de anhidrita supone una reducción superior al 80% en el impacto ambiental. Si quiere obtener más información del Análisis de Ciclo de Vida, no dude en solicitárnoslo en el apartado de contactos.

Los morteros de anhidrita se llevan utilizando en Europa desde hace más de 40 años. Una de las razones de su éxito ha sido su elevada eficiencia en la transmisión del calor en calefacción radiante gracias a dos efectos: bajo espesor y elevada conductividad térmica.

La calefacción por suelo radiante se basa en que la transmisión del calor se realiza desde el suelo a la habitación, a diferencia de una calefacción tradicional donde la transmisión del calor se realiza por medio de radiadores instalados en las paredes.

Este sistema consta de un circuito de tuberías por donde circula el agua caliente (también puede tratarse de cables calefactores). Por encima de esta red de tuberías se aplica un mortero con el revestimiento final. Por lo tanto, la eficacia de un suelo radiante estará supeditada a la transmisión de calor que pueda ejercer el mortero. De nada sirve tener la mejor ó más eficaz caldera del mercado si luego el mortero no es capaz de transmitir el calor desde los tubos a la estancia.

El mortero de anhidrita permite ejecutar soleras, sobre suelo radiante, con espesores desde tan solo 3 cm frente a los 8 cm de un recrecido tradicional. El flujo de calor es proporcional al espesor de la solera y, por lo tanto, cuanto menor sea el espesor más rápida será la respuesta de la calefacción.

Una de las particularidades del mortero de anhidrita es que, gracias a su alta fluidez, el mortero fragua dando un producto muy compacto, minimizando la cantidad de aire ocluido en su interior. De esta manera la conductividad térmica que se obtiene es superior a la de los morteros convencionales.

En el siguiente artículo se presenta un caso práctico donde se analiza cómo afecta la elección de un mortero sobre la eficacia y el coste en una calefacción radiante.

La anhidrita ha obtenido una Declaración Ambiental de Producto (EPD) por parte de *International EPD System*, el sistema de ecoetiquetado industrial más reconocido internacionalmente. Una ecoetiqueta EPD® proporciona información ambiental de un producto de acuerdo a los requisitos de la norma ISO 14025, facilitando datos sobre el impacto del producto basado en su Análisis de Ciclo de Vida. *International EPD® System* es el sistema de certificación medioambiental gestionado por el *Swedish Environmental Management Council* en colaboración con organizaciones de diversos países como Alemania, Italia, USA ó España. En su página web (<http://www.environdec.com/es/>) se pueden consultar los productos certificados.

La ingeniería LKS ha desarrollado un proyecto donde se valora el impacto del mortero de anhidrita en relación a las certificaciones LEED y BREEAM. Este estudio, que próximamente estará disponible en esta web, destaca que las características del mortero de anhidrita suponen una ventaja a la hora de acometer un proceso de certificación

medioambiental en un edificio. En concreto, la utilización de morteros de anhidrita, puede contribuir a la obtención de 6 puntos adicionales para la certificación LEED y de hasta 6,5 puntos en certificación BREEAM.

3.6.- Conductividad térmica de los morteros

En el Diario de la Física de la Construcción nos hablan sobre las propiedades térmicas de los morteros y hormigones de ceniza volante de alto volumen. (DP Bentz, 2011)

Como sostenibilidad se mueve a la vanguardia de la construcción, la utilización de mezclas de cemento de cenizas volantes de gran volumen para reducir las emisiones de CO₂ y el consumo de cemento por unidad de volumen de hormigón colocado está recibiendo un renovado interés. Las mezclas de cemento en el que las cenizas volantes reemplaza el 50% o más del cemento Portland son técnica y económicamente viable. Este artículo se centra en una caracterización de las propiedades térmicas, es decir, capacidad de calor específico y conductividad térmica, de tales mezclas. Tanto las materias primas y los productos terminados (morteros y hormigones) se evalúan utilizando un método fuente plana transitoria. Debido a que las muestras a examinar están bien hidratados, las estimaciones de la capacidad de calor específico basado en una ley de las mezclas, con el valor de la capacidad de calor específico de "agua unida" ser empleados para el agua en la mezcla, dar predicciones razonables del rendimiento medido. Al igual que con la mayoría de los materiales, la conductividad térmica se encuentra que es una función de la densidad, mientras que también ser dependiente de si la fuente es agregada o piedra caliza silíceas. Los valores medidos deben proporcionar una base de datos útil para evaluar el comportamiento térmico de las estructuras de hormigón de cenizas volantes de gran volumen.

Como parte de un movimiento por la sostenibilidad dentro de la industria del hormigón, se promueve una mayor utilización de mezclas de cenizas mosca de gran volumen (HVFA) (Mehta, 2009). Típicamente, en estas mezclas, cenizas volantes puede reemplazar 50% o más del cemento Portland, la reducción de consumo de cemento y las emisiones de CO₂ que acompaña a su producción, en una unidad de volumen por base de hormigón. Mientras que las propiedades del hormigón fresco y las propiedades mecánicas del hormigón endurecido se han investigado en detalle para estas mezclas (Bouzoubaa et al, 2001;. Mehta, 2004; McCarthy y Dhir, 2005;. Dura'n-Herrera et al, 2009), algunos se han realizado estudios de propiedades térmicas. Desde una perspectiva de sostenibilidad, propiedades térmicas, tales como la capacidad de calor específico y la conductividad térmica son críticos en la evaluación del potencial de eficiencia energética de las estructuras de hormigón HVFA, tales como edificios residenciales y comerciales. Por ejemplo, debido a

que la densidad de las cenizas volantes puede ser tanto como un tercio menor que la de cemento (Bentz, 2009), hormigones HVFA pueden presentar una conductividad térmica reducida, haciéndolos más aislante que los hormigones convencionales.

Demirboga et al. (Demirboga, 2003a, b; Demirboga y Gul, 2003; Demirboga et al, 2007) han informado ampliamente sobre las propiedades térmicas de mezclas que contienen altos volúmenes de adiciones minerales, pero sólo para las muestras que han sido ampliamente primero se secó (a masa constante) a 110°C, lo que reduce drásticamente su conductividad térmica, por ejemplo. El objetivo del presente estudio es proporcionar la capacidad de calor específico y conductividad térmica de HVFA morteros y hormigones que han sido equilibrados en condiciones ambientales de laboratorio que son más representativos de la exposición a campos.

Se evaluaron las propiedades térmicas de los dos juegos de muestras HVFA. El primer grupo era de una serie de HVFA morteros preparados por Bentz (2009), para un estudio que examinó la influencia del tipo de cemento, cenizas tipo de ceniza y curado interno de rendimiento. Estos morteros contenían cenizas volantes 50% por la sustitución de masa de cemento (a excepción de la mezcla de control sin cenizas volantes), una relación de materiales agua-a-cemento (w / c) de 0,3, y 54% (sílice) arena por fracción de volumen. Las mezclas se prepararon utilizando ya sea un tipo I / II o un cemento de tipo III (ASTM International, 2009), ya sea una clase C o una ceniza volante clase F (ASTM International, 2009), y con o sin curado interno, tal como se suministra por pre -humedecida arena agregado liviano sustitución de una parte de la arena de sílice. Para las cenizas volantes de clase C se utiliza con cualquiera de cemento, era necesaria para lograr características de hidratación normales, tal como se determina por mediciones de calorimetría isotérmica (Bentz, 2009) una adición de 2% de yeso (sulfato de calcio dihidrato). Las mediciones térmicas se realizaron en 50,8 mm cubos de mortero primera curado a 182 días. Cubos sin curado interno se curaron en una solución saturada de cal para 181 días y luego se equilibró en una bolsa de plástico sellada durante 1 día, mientras que los de curado interno se curaron en condiciones selladas en bolsas de plástico dobles para 182 días, tanto en la cabina de en cámara ambiental mantenida a 25°C 1°C.

| Concrete | FA (%) | W/ (C + FA) | Water (kg/m ³) | Cement (kg/m ³) | FA (kg/m ³) | SSD aggregates (kg/m ³) | | SP (L/m ³) | 28-day strength (MPa) |
|----------|--------|----------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--|------|---------------------------|-----------------------------|
| | | | | | | Coarse | Fine | | |
| A | 0 | 0.50 | 211 | 425 | – | 734 | 990 | 2.2 | 43.5 |
| | 15 | | | 361 | 64 | 728 | 972 | | 36.8 |
| | 30 | | | 298 | 128 | 741 | 963 | | 32.5 |
| | 45 | | | 234 | 191 | 752 | 934 | | 23.8 |
| | 60 | | | 170 | 255 | 743 | 923 | | 16.8 |
| | 75 | | | 106 | 319 | 735 | 914 | | 7.0 |
| B | 0 | 0.55 | 222 | 405 | – | 774 | 959 | 1.3 | 37.0 |
| | 15 | | | 344 | 61 | 772 | 941 | | 32.4 |
| | 30 | | | 284 | 122 | 771 | 940 | | 25.4 |
| | 45 | | | 223 | 182 | 770 | 904 | | 19.6 |
| | 60 | | | 162 | 243 | 767 | 884 | | 13.1 |
| | 75 | | | 101 | 304 | 770 | 904 | | 6.0 |
| C | 0 | 0.60 | 222 | 370 | – | 785 | 973 | 0.6 | 32.1 |
| | 15 | | | 315 | 56 | 785 | 928 | | 27.5 |
| | 30 | | | 259 | 111 | 787 | 921 | | 21.3 |
| | 45 | | | 204 | 167 | 793 | 917 | | 13.4 |
| | 60 | | | 148 | 222 | 785 | 883 | | 9.8 |
| | 75 | | | 93 | 278 | 794 | 886 | | 5.0 |

FA = fly ash, C = cement, SSD = saturated surface dry, SP = superplasticizer.

Tabla 3.16. Proporciones de mezcla para hormigones A, B, and C

Se evaluaron dos cubos de cada serie con la fuente plano transitoria (TPS) método que se describirá posteriormente. Además, también se midieron las capacidades caloríficas específicas de los polvos individuales (cemento, cenizas volantes, y el yeso) y arenas (peso normal y ligera) usando una cacerola célula de la capacidad de calor de oro conectado al sistema de medición de TPS.

El segundo conjunto de muestras se basó en una serie de tres hormigones preparados en México (Dura 'n-Herrera , 2009) y enviado al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), con las proporciones de la mezcla como se muestra en la Tabla 1. Las mezclas se prepararon utilizando un C 595 Tipo IP ASTM (MS) cemento (ASTM International, 2009), y se incluyen tres diferentes w/c (0.5, 0.55 y 0.6) y volar contenido de ceniza en masa de 0%, 15%, 30 %, 45%, 60%, y 75%, para mezclas de 18 en total. Las

propiedades mecánicas de hormigón y hormigón endurecido frescas se resumen en Dura'n-Herrera (2009), y de los puntos fuertes a la compresión a 28 días medidos en este estudio se incluyen en la Tabla 1. Para las mediciones térmicas, las muestras se prepararon como un conjunto de dos cubos de 101,6 mm por mezcla de concreto en la Tabla 1 y se curaron durante 28 días antes de ser enviados a los EE.UU. en el NIST, las muestras se almacenaron bajo condiciones de laboratorio (nominalmente 23°C y 40% humedad relativa [RH]) de entre 28 y 84 días, hasta que se mide por el método de TPS. Por lo tanto, en el momento de su ensayo, estos hormigones eran menos saturada que las probetas de mortero, pero más saturado que si hubieran sido secados a 100°C o mayor. La densidad de cada cubo se determinó justo antes de las mediciones térmicas, mediante la medición de su masa y dimensiones externa. Como se muestra en la Figura 1, las densidades medidas fueron consistentemente ligeramente menos de los pesos unitarios de la correspondiente hormigón fresco, en consonancia con un poco de secado de los especímenes durante el envejecimiento. Las capacidades específicas de calor del cemento y polvo de ceniza volante y la arena caliza también se determinaron en muestras obtenidas directamente de México. Se supuso que la capacidad de calor específico del agregado de piedra caliza gruesa sería el mismo que el medido para la arena de piedra caliza. La técnica de medición TPS ha sido descrito en detalle por Gustafsson (1991) y el Registro y Gustafsson (1995), con las consideraciones teóricas que tiene. Para el presente estudio, se seleccionó una sonda de radio de 6.403 mm. La sonda se intercala horizontalmente entre los lados del elenco de los cubos de mortero endurecido gemelas o las caras cortadas de dos mitades de un cubo de hormigón. Después de un tiempo de equilibrio de al menos 45 minutos en un laboratorio, nominalmente mantenida a 23°C, las mediciones se obtuvieron con una potencia de 0,3 W aplicadas para un tiempo de medición de 10 s. La respuesta medida del sensor de la sonda se analizó mediante el software incorporado para determinar la conductividad térmica y capacidad calorífica volumétrica de los especímenes. A continuación, la capacidad calorífica volumétrica se convirtió en una capacidad de calor específico (base de masa) por dividiendo por la densidad promedio medido de las muestras individuales. El analizador de muestras de 200 puntos durante los 10 s el tiempo de medición, y por lo general, los puntos 75 a 200 se utilizaron en el análisis cuantitativo. Para los cubos de mortero, cuatro o más caras individuales del elenco fueron analizados de esta manera, con el valor medio que se informa. Para los cubos corte de concreto, ocho zonas (dos para cada borde lateral) fueron medidos y el valor promedio reportado después de descartar los valores extremos obvios como discutido abajo. De acuerdo con las especificaciones del fabricante, las mediciones de conductividad térmica realizadas de esta manera en materiales homogéneos son reproducible dentro de $\pm 2\%$ y valores de la capacidad de calor dentro de $\pm 7\%$.

Para los experimentos de capacidad calorífica por separado sobre los polvos y arenas, se colocó aproximadamente 0,4-1,0 g del material en la unidad de capacidad de calor, que consiste en una sonda especial unido a la base de un recipiente / tapa de oro. Para estas mediciones, el pan de oro con su tapa está rodeado por todos lados por aislamiento de poliestireno, en un intento de minimizar la pérdida de energía. En primer lugar, una medición de referencia se realiza con un recipiente vacío, seguido de la medición con la muestra colocada en la sartén. En este caso, una potencia de 0,1 W se aplicó durante un tiempo de medición de 80 s y puntos 100-200 (del total 200 muestreada en el 80 s) se utilizaron en el análisis cuantitativo.

El conocimiento de la masa de la muestra, su capacidad de calor específico en unidades de $J/(g K)$ se puede determinar fácilmente. Según el fabricante, capacidad de calor específico mediciones realizadas de esta manera son reproducibles dentro del 2%. Medición de las propiedades térmicas de los cubos de hormigón resultó ser más difícil de lo esperado debido a la heterogeneidad de su microestructura.

Originalmente, estaba previsto para medir estas propiedades con un par de cubos y la medición de las superficies de molde, como se hizo con éxito en los cubos de mortero. Sin embargo, debido al mayor tamaño agregado y tal vez el más alto W/cm en el hormigón, y así sucesivamente, hubo un efecto significativo del borde, con la microestructura y la densidad de la capa superficial (mortero rico) de ser bastante diferente de la mayor parte de los el hormigón. Esto dio lugar a conductividades térmicas calculadas siendo superior y calores específicos son más bajas de lo esperado. De hecho, los valores de la capacidad de calor específica medida que se calcularon usando las densidades aparentes de los hormigones eran por lo general muy por debajo de los valores de cualquiera de las materias primas individuales, una imposibilidad de acuerdo con la ley aceptada de las mezclas en el calor específico capacidad de los materiales compuestos (Bentz, 2007. Choktaweekarn , 2009). Por lo tanto, en un esfuerzo para obtener una superficie más representativo para la realización de las mediciones de las propiedades térmicas, uno de los cubos para cada mezcla de hormigón fue aserrada por la mitad y las dos superficies aserradas se utilizaron para posteriores mediciones TPS. Como será demostrado en la sección de resultados, estas superficies aserradas produjeron valores de las propiedades térmicas dentro del rango esperado para estos materiales. Sin embargo, de vez en cuando desde uno hasta tres de los ocho mediciones realizadas para un cubo dado fueron descartados debido a la producción de valores específicos de capacidad de calor por debajo del valor mínimo posible, tal vez debido a la colocación de la sonda directamente sobre un gran agregado grueso corte por ejemplo. En promedio, descartando estos valores resultaron en un cambio

absoluto en la conductividad térmica calculada de $0,06 \text{ W/(m K)}$ y en la capacidad de calor específico computarizada de $0,07 \text{ J/(g K)}$.

El método del plano transitoria se puede emplear para medir las propiedades térmicas de los morteros y hormigones HVFA a temperatura ambiente, proporcionando valores tanto para la capacidad de calor específico y conductividad térmica. Los valores de capacidad de calor específicos medidos para las muestras así de edad examinados en el estudio actual pueden ser adecuadamente predicho usando una simple ley de mezclas con una estimación de agua unida de $2,2 \text{ J / (g K)}$ para el agua en el inicial las proporciones de mezcla. Debido a que los calores específicos de las cenizas volantes y cementos son bastante similares, poca diferencia en la capacidad de calor específico se produce mediante la sustitución de cemento con cenizas volantes. Por el contrario, debido a su densidad significativamente reducido, la adición de ceniza volante se reduce la conductividad térmica de un mortero u hormigón. El estudio también ha puesto de relieve la gran influencia del tipo de agregado (piedra caliza silícea frente) de la conductividad térmica. Mediante la reducción de la conductividad térmica, mezclas HVFA pueden reducir costos de calefacción y refrigeración para edificios de hormigón residenciales y comerciales.

3.7.- Aditivos

Son sustancias o materiales añadidos, antes o durante la mezcla del mortero, en pequeñas cantidades con relación a la masa del cemento (su proporción no supera el 5% en masa del contenido de cemento). Su función es aportar a las propiedades del mortero, tanto en estado fresco como endurecido, determinadas modificaciones bien definidas y con carácter permanente (Rodríguez-Mora, 2003).

Los aditivos aptos para morteros deben cumplir las exigencias prescritas en la norma UNE-EN 934 (AENOR) y en la norma UNE-EN 934-3:2010+A1:2012.

Estos componentes pueden producir una única modificación en las características del mortero (Función principal); o bien, además, modificaciones adicionales (Función secundaria).

Los aditivos más comunes se clasifican según las propiedades que confieren al mortero, conforme a su función principal, en los siguientes grupos principales:

A.- Aireante: modificadores del contenido en aire

Este efecto consiste en la introducción dentro de la masa de mortero de pequeñas burbujas de aire de diámetro comprendido entre 10 y 500 micras durante el amasado. Estas burbujas son muy beneficiosas ya que:

- Debido a su forma esférica y flexible actúan como lubricante del mortero en estado fresco, mejorando la docilidad.
- Interrumpen la red capilar de la masa del mortero, impidiendo la penetración de agua y productos de la hidratación del cemento, protegiendo la masa del efecto de las heladas.
- Al incluir aire, disminuyen la densidad aparente del mortero fresco, lo cual, unido a lo anterior, tiende a evitar la segregación y exudación del mortero en estado fresco. El contenido de este aditivo debe ser perfectamente controlado puesto que su exceso deriva en una sensible pérdida de las resistencias finales del mortero.

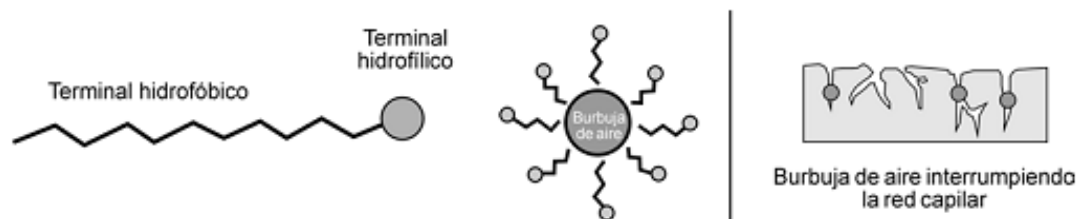


Figura 3.17. Esquema de actuación de los aditivos aireantes

B.- Plastificante: modificadores de la reología en estado fresco

Este efecto provoca que aumente la docilidad del mortero en estado fresco. Se consigue mediante la dispersión temporal de las partículas de cemento, que origina:

- Reducción de la relación agua/cemento en beneficio de la resistencia mecánica y la durabilidad.
- Aumento de la plasticidad del mortero permaneciendo la mezcla trabajable durante un mayor período de tiempo.

Por el contrario, un inadecuado contenido de los plastificantes puede acarrear un excesivo tiempo de fraguado.



Figura 3.18. Acción de los aditivos plastificantes provocando el proceso de repulsión entre partículas

C.-Retardantes: Modificadores del tiempo de fraguado y/o endurecimiento (Retardadores del fraguado)

Son aditivos que retrasan el tiempo de fraguado del cemento, de modo que aumenta el periodo necesario para que los morteros pasen del estado plástico al estado sólido, sin influir notablemente en la evolución de las resistencias mecánicas en las edades finales. Así, prolongan el tiempo de trabajabilidad del mortero.

Como en los casos anteriores, debe medirse cuidadosamente las proporciones de los retardantes empleados para no ocasionar efectos contraproducentes en el resultado final de la mezcla.

El agua utilizada, tanto en el amasado como durante el curado en obra, debe ser de naturaleza inocua. No contendrá ningún agente en cantidades que alteren las propiedades del mortero, tales como sulfatos, cloruros, etc. De lo contrario pueden derivarse, por ejemplo, eflorescencias si el contenido en sales solubles es elevado. O bien, en el caso de morteros armados, se cuidará especialmente que no porte sustancias que produzcan la corrosión de los aceros.

En general, se pueden emplear todas aquellas aguas cuya experiencia práctica se haya contrastado favorablemente. En otros casos es necesario proceder a su análisis.

Según Ana Jaime Jimenez (Febrero 2012) la función principal de los aditivos superplastificantes consiste en aumentar significativamente la trabajabilidad para una relación a/c dada, producir una reducción considerable de la relación a/c para una determinada trabajabilidad, y obtener simultáneamente ambos efectos. Estos aditivos también se denominan como reductores de agua de alta actividad, y son utilizados en mayor proporción que los convencionales plastificantes. Los superplastificantes son surfactantes que se caracterizan por poseer actividad superficial debido a que en su composición química incluyen grupos hidrofílicos y grupos hidrofóbicos. Los superplastificantes son polímeros de alto peso molecular, solubles en agua. La solubilidad del aditivo está asegurada por la presencia de hidroxilos y grupos sulfonato o carboxílicos unidos a la cadena orgánica, la cual es normalmente aniónica.

De modo general, se puede considerar que hay cuatro grandes categorías de superplastificantes que se utilizan en la industria del hormigón. Estos son:

1. Condensados de melamina-formaldehído sulfonado (SMF). El grado de condensación está habitualmente en el rango de 50-60, de ahí que los pesos moleculares sean del orden de 12000-15000.
2. Condensados de naftalen-formaldehído, sulfonados (SNF). En este aditivo, el grado de condensación es de 5-10 y el peso molecular está en el rango de 1000-2000.
3. Lignosulfonatos modificados. Son materiales purificados en los que se han eliminado todas las impurezas de carbohidratos. Tienen altos pesos moleculares. Estos lignosulfonatos obtenidos en los procesos de refinamiento se aproximan a los condensados en términos de comportamiento, aunque tienen una mayor tendencia a retener aire.
4. Otros polímeros sintéticos, tales como poliésteres, carboxílicos, vinilos, polímeros hidroxilados y dispersiones de copolímeros, bien aislados o en combinación.

Los tres primeros se caracterizan por tener el mismo grupo funcional, el grupo sulfonato. En los últimos, los grupos funcionales responsables de su solubilidad en agua son del tipo carboxílico o hidroxilo. Dentro de éstos destacan los policarboxilatos o poliácridatos que tienen unas propiedades dispersantes mayores que los polímeros basados en grupos sulfonados.

La acción dispersante de los aditivos superplastificantes está producida por la adsorción de aditivo en la superficie de los granos de cemento durante las reacciones de hidratación inicial. Sin embargo, no existe un conocimiento suficiente en torno a la naturaleza química de dicha adsorción, a la interacción electrostática y al impedimento estérico que se produce.

Los superplastificantes afectan a la hidratación del cemento portland, ya que por una parte pueden retardarla y por otra pueden afectar a la morfología y microestructura de los productos de reacción. De manera general, se asume que la influencia de los superplastificantes en la hidratación del cemento afecta a varios factores:

1. Las moléculas de superplastificante impiden la difusión del agua y de los iones Ca^{2+} en la interfase disolución del cemento.

2. Los iones Ca^{2+} forman complejos con las moléculas del superplastificante inhibiendo la nucleación y el crecimiento de las especies ricas en Ca^{2+}
3. La fuerte acción dispersiva de estos aditivos altera la cinética de formación y morfología de los productos de reacción.

Este efecto es variable dependiendo del tipo de aditivo superplastificante. Los aditivos superplastificantes basados en policarboxilatos retardan la hidratación de los silicatos (especialmente de la fase alita).

Comportamiento reológico de pastas de cementos con adiciones minerales y aditivos superplastificantes.

El uso de cementos tipo II en la preparación de hormigones es una práctica muy común (Olga Burgos-Montes, 2012). En el año 2010 la producción de este tipo de cemento supuso el 63% de la producción nacional. La incorporación de aditivos superplastificantes en la preparación de los hormigones mejora notablemente la fluidez así como las propiedades mecánicas y la durabilidad de los mismos. El objetivo del presente trabajo ha sido conocer el comportamiento reológico de cementos con adiciones minerales (caliza, ceniza volante y humo de sílice) con aditivos superplastificantes basados en naftaleno (PNS), melamina (PMS), lignosulfonato (LS) y policarboxilatos (PCE). Los resultados más relevantes muestran que la incorporación de las adiciones minerales afecta al comportamiento reológico de las pastas de cemento. Los cementos con caliza presentan una gran afinidad por el aditivo PMS, obteniéndose valores de fluidez similares a los obtenidos con PCE. La ceniza volante es la adición mineral con la que mejores valores de fluidez se obtienen, siendo los aditivos superplastificantes PNS, PMS y PCE los más efectivos. Los aditivos PCE y PNS son los más eficaces para el CEM II/AD, aunque son necesarias mayores dosificaciones de los mismos que en el resto de cementos estudiados.

El cemento portland es el componente principal del hormigón empleado en construcción, superando su producción mundial los 2.800 millones de toneladas al año. Sin embargo, su fabricación lleva asociada principalmente dos inconvenientes: un alto consumo energético (por cada tonelada de cemento se consumen aproximadamente 1.000 Kcal/kg), y un leve impacto medioambiental debido a la explotación de recursos naturales y a la emisión a la atmósfera de gases contaminantes causantes del efecto invernadero, principalmente CO₂. Una de las vías, para lograr minimizar todos estos efectos adversos, es preparar cementos con menores contenidos en clínker y mayores porcentajes y variedad de otros materiales (adiciones) en la composición final de los mismos. Los cementos tipo II, III, IV y V, todos ellos presentan contenidos de adiciones minerales en porcentajes comprendidos entre el 6% y el 95%. Dichas adiciones son compuestos de origen natural (calizas, puzolanas, esquistos) o bien subproductos industriales (escorias de horno alto, cenizas volantes o humo de sílice) que presentan propiedades puzolánicas o hidráulicas. En la actualidad la producción de cementos tipo II supone el 63% de la producción total en España. La sustitución de clínker por estas adiciones reduce tanto el gasto energético como las emisiones de CO₂ a la atmósfera, reutilizándose al mismo tiempo subproductos industriales.

Los cementos con adiciones de caliza presentan una durabilidad y resistencias mecánicas similares a los cementos sin adición, obteniendo altas resistencias a la compresión cuando la cantidad de caliza adicionada es pequeña, inferior al 25% (Olga Burgos-Montes, 2012). Sin embargo, para alcanzar las propiedades deseadas en el material final es necesario controlar las características de la caliza: calidad, contenido, tamaño de partícula y finura. Estas características junto con la menor demanda de agua de los cementos con adición permite obtener estructuras más compactas y, por lo tanto, con menor porosidad. A pesar de la extensa bibliografía centrada en el estudio de los cementos con caliza no existe un acuerdo frente al efecto de la incorporación de la caliza en el comportamiento reológico de las pastas de cemento.

El empleo de cenizas volantes en las composiciones del cemento es muy común debido a que mejora las resistencias y, entre otros aspectos positivos en la durabilidad, reduce la expansión debida a la reacción álcalisilíce. La finura y composición de la ceniza volante determina las propiedades finales del material. La pastas de cemento con ceniza volante tienen una mayor la fluidez, desarrollándose estructuras con menores porosidades.

El humo de sílice presenta un tamaño de partícula muy fino por lo que se emplea, principalmente, como una adición que promueve la densificación de las pastas, morteros y hormigones, obteniéndose importantes aumentos en las resistencias de estos materiales, lo que hace que se emplee en la fabricación de hormigones de muy altas resistencias. Sin embargo, se ha observado que además de actuar como rellenedor también actúa mejorando la interfaz entre la pasta de cemento y el árido lo que también contribuye al incremento de la resistencia de los morteros y hormigones. Su incorporación en las pastas de cemento afecta a la fluidez en el estado fresco, aumentando notablemente la demanda de agua del cemento, además tiene una alta reactividad en las etapas tempranas de la hidratación, aumentando la liberación de calor de hidratación lo que provoca la retracción del material durante la etapa de secado. En general, la presencia de humo de sílice como adición en cementos y hormigones requiere presencia de algún tipo de superplastificante (Olga Burgos-Montes, 2012).

En todos los casos para conseguir las propiedades deseadas de las pastas de cemento, morteros y hormigones endurecidos es necesario un exhaustivo control de la microestructura de los mismos, en particular de la homogeneidad de los productos de reacción, densidad y porosidad. El comportamiento reológico de las pastas de cemento frescas se considera uno de los factores más importantes relacionados con el final de las microestructuras de los morteros y hormigones. Como se ha detallado anteriormente, las

presencia de adiciones minerales afecta directamente a las propiedades reológicas de los sistemas cementantes y, por tanto, a la microestructura de los mismos. Es pues, necesario conocer el comportamiento reológico de los cementos con adiciones. En general, la incorporación de las adiciones aumenta el esfuerzo de cizalla umbral y en menor medida la viscosidad plástica, en especial, en los cementos con humo de sílice. Sin embargo, existe controversia en la literatura sobre el efecto de la incorporación de las adiciones en las propiedades reológicas de las pastas de cemento.

Actualmente la incorporación de aditivos superplastificantes en la preparación de los hormigones portland es una práctica muy extendida. Su empleo permite mejorar las propiedades reológicas y reducir el contenido del agua de amasado, aumentando consecuentemente las resistencias mecánicas y el comportamiento durable. Tradicionalmente se han empleado como aditivos superplastificantes polímeros basados en melamina, naftaleno y derivados de lignosulfonato. Todos ellos proporcionan, al adsorberse sobre las partículas del cemento, una mayor estabilidad mediante un mecanismo fundamentalmente electrostático. En la última década, se ha extendido el empleo de aditivos basados en policarboxilatos que inducen una estabilización estérica. La adsorción de los aditivos superplastificantes se debe a la presencia de grupos aniónicos que se adsorben sobre la superficie de las partículas del cemento, quedando estas cargadas negativamente.

La mejora en la fluidez de las pastas de cementos depende principalmente del tipo de aditivo empleado, siendo los basados en policarboxilato los que consiguen un incremento mayor de la fluidez, así como una mayor reducción de la relación agua/cemento. Sin embargo, la efectividad y la mejora de las propiedades de la pasta de cemento depende también de la composición y finura del cemento y de la naturaleza y del contenido de la adición (Olga Burgos-Montes, 2012).

El comportamiento de las pastas de cemento está determinado por la interacción físico-química de las partículas con el medio. Las partículas de cemento en contacto con el medio tienden a aglomerarse lo que dificulta que las partículas fluyan, y por lo tanto, aumenta la viscosidad de las mismas. La incorporación de aditivos superplastificantes, que se adsorben sobre la superficie de las partículas de cemento, previene la formación de flóculos y evita que se quede agua atrapada entre dichos flóculos, disminuyendo la cantidad de agua necesaria para la preparación de las pastas. Esto produce un incremento de la fluidez de las mismas, es decir, disminuye su viscosidad. Además, en presencia de los aditivos superplastificantes disminuyen las fuerzas de interacción entre las partículas de

cemento, lo que se ve reflejado en la reducción de los valores del esfuerzo de cizalla umbral. Este comportamiento puede verse afectado por la naturaleza, composición y tamaño de las partículas de los cementos; siendo la adición mineral un componente efectivo en esa compatibilidad cemento-aditivo. Es por eso, que los resultados que se van a presentar y discutir, a continuación, muestran, inicialmente, el comportamiento reológico de las pastas de cemento sin adición y seguidamente, y de manera comparativa, el de los tres cementos que incorporan las adiciones minerales (Olga Burgos-Montes, 2012).

Las conclusiones principales del presente trabajo son las siguientes (Olga Burgos-Montes, 2012):

1. La incorporación de las adiciones minerales al cemento afecta al comportamiento reológico de las pastas de cemento, aumentando el esfuerzo de cizalla umbral y disminuyendo la fluidez de las mismas. Sin embargo, es posible igualar e incluso aumentar la fluidez de las pastas en comparación con el cemento sin adición empleando aditivos superplastificantes adecuados para cada una de las adiciones minerales.
2. La adición mineral con la que mejores resultados se obtienen desde el punto de vista reológico es la ceniza volante.
3. El aditivo más efectivo, en el aumento de la fluidez de los cementos con y sin adición, es el PCE.
4. Los aditivos superplastificantes más eficaces para la preparación de pastas de CEM I 52.5R son el PNS y el PCE.
5. En los cementos con ceniza volante la efectividad del PNS y PMS es similar.
6. En los cementos con caliza la fluidez con el aditivo PMS aumenta notablemente alcanzándose valores similares a los obtenidos en presencia de PCE.
7. La presencia de humo de sílice, con una alta superficie específica, demanda altas dosificaciones de aditivos superplastificantes para mejorar el comportamiento reológico de las pastas frescas.

3.8.-Fibras

(Benavides Cerezo, 2012) Desde tiempos atrás, las fibras han sido usadas para reforzar materiales rígidos, la paja fue usada para reforzar ladrillos de adobe, y la crin de caballo fue usada para reforzar morteros de mampostería, incluso una casa edificada en el viejo oeste en los Estados Unidos alrededor de 1540, está construida con elementos de adobe secado al sol reforzados con paja [American Concrete Institute Committee 544 2002].

En tiempos más recientes, el uso comercial a gran escala de fibras de amianto en matrices de pasta de cemento se inició con la invención del Proceso de Hatschek en 1898, y los productos de construcción en amianto–cemento son ampliamente usados alrededor del mundo hoy en día; sin embargo, debido principalmente a los riesgos en la salud asociados con las fibras de amianto, fueron introducidas fibras alternativas alrededor de las décadas de 1960 y 1970 [ACI Committee 544 2002].

En tiempos modernos, un amplio rango de materiales de ingeniería (incluyendo cerámicos, plásticos, cementos) incorporan fibras para aumentar sus propiedades como compuesto. La ganancia de propiedades incluye resistencia a tensión, resistencia a compresión, módulo elástico, resistencia al agrietamiento, control del agrietamiento, durabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al impacto y a la abrasión, contracción, expansión, características térmicas y resistencia al fuego [ACI Committee 544 2002].

Según Arnon Bentur y Sidney Mindess (Benavides Cerezo, 2012) en los últimos 40 años se ha producido un aumento constante en el uso de cementos y hormigones reforzados con fibras (FRC). Las fibras no se agregan para mejorar la resistencia, aunque pueden producir pequeños aumentos en la fuerza. Pero más bien, su función principal es controlar el agrietamiento, alterar el comportamiento del material de la matriz una vez que se ha roto, por puente a través de estas grietas y así proporcionar ductilidad después de la fisuración.

Se ha hecho trabajo en la optimización de las propiedades del material compuesto: se han desarrollado nuevos tipos de fibra y geometrías, y han sido empleados tratamientos de superficie para hacer las fibras más compatibles con la matriz cementosa.

La evaluación de las propiedades de los materiales compuestos con fibra es de primordial importancia para estos compuestos para ser utilizados con eficacia y económicamente en práctica. Algunas de estas propiedades dependen en gran medida de la

matriz, y se puede medir con los métodos que se utilizan comúnmente para el hormigón convencional. Por ejemplo, resistencia a la compresión. Otras propiedades, sin embargo, dependen mucho más de la presencia de fibras y en las interacciones de fibra-matriz. Estas propiedades son muy diferentes de las de la propia matriz, y debe ser evaluada por métodos de ensayo bastante diferentes de los utilizados para los cementos de fricción y hormigones. Estas propiedades son de mayor interés aquí, ya que representan las áreas en las que la adicción de fibras conduce a mejoras significativas en las propiedades tales como tenacidad, control de la fisuración y resistencia al impacto. En este capítulo sólo se refiere a este segundo tipo de pruebas, es decir, pruebas que son particulares de FRC. Algunos de éstos se han desarrollado hasta el nivel de los métodos de ensayo normalizados adoptados por la ASTM (American Society for Testing and Materials), EN (European Normative), ISO (International Organization for Standardization), así como otros organismos internacionales y nacionales, mientras que otros todavía se utilizan principalmente para la investigación o en casos especiales en la práctica.

El uso de la fibra de vidrio en el cemento fue inicialmente adaptado en la antigua Unión Soviética a finales de la década de 1950, y rápidamente fue establecido que las fibras de vidrio común, como las fibras de vidrio E con silicato de boro, son atacadas y eventualmente destruidas por la alcalinidad en la pasta de cemento; un trabajo considerable de desarrollo fue direccionado hacia la producción fibras de vidrio resistentes al álcalis conteniendo zirconio, lo cual condujo a un número considerable de productos comercializados de tal forma que un gran uso de cemento reforzado con fibra de vidrio en algunos países es actualmente para la producción de paneles para arquitectura exterior [ACI Committee 544 2002].

Los intentos iniciales en el uso de fibras sintéticas (nylon, polipropileno) no fueron exitosos como sí lo era el uso de fibras de vidrio o de acero; sin embargo, un mejor entendimiento de los conceptos ocultos del reforzamiento con fibras, nuevos métodos de fabricación, y nuevos tipos de fibras orgánicas han conducido a investigaciones que concluyen que tanto las fibras sintéticas como la fibras naturales pueden exitosamente reforzar los compuestos basados en matrices cementicias [ACI Committee 544 2002].

Los materiales basados en matrices cementicias reforzadas con fibras son materiales compuestos hechos con cemento hidráulico, agua, agregados, y una dispersión de fibras discontinuas.

En general, la longitud de las fibras varía de 0.25 a 2.5 pulgadas (de 6 a 64 mm) [ACI Committee 544 2008]. Estos compuestos pueden también contener materiales cementicios suplementarios, como el humo de sílice, las cenizas volantes, y las escorias, que se han denominado como adiciones minerales o adiciones puzolánicas, y aditivos químicos, como agentes reductores de agua, agentes entradores de aire, agentes retardadores del fraguado, agentes aceleradores de la resistencia final, entre otros comúnmente usados [ACI Committee 544 2008].

Dos tamaños generales de fibras sintéticas han emergido: las fibras micro sintéticas y las fibras macro sintéticas [ACI Committee 544 2008]. Las fibras micro sintéticas son definidas como las fibras cuyos diámetros o diámetros equivalentes son menores que 0.012 pulgadas (0.3 mm), mientras que las fibras macro sintéticas tienen diámetros o diámetros equivalentes son mayores a los mencionados [ACI Committee 544 2008]. Las fibras de polipropileno pueden ser tanto micro sintéticas como macro sintéticas, y tienen una gravedad específica de 0.91, más liviana que el Nylon, otra fibra sintética generalmente microfibras, cuya gravedad específica es de 1.14 [ACI Committee 544 2008].

Las fibras micro sintéticas son típicamente usadas en el rango del 0.05 al 0.2% por volumen, mientras que las fibras de acero y las fibras macro sintéticas son usadas en el rango del 0.2 al 1.0% por volumen, y en algunos casos para ciertas aplicaciones con valores más altos [ACI Committee 544 2008]. Estas dosificaciones equivalen a 0.75-3.0 lb/yd³ (0.44-1.80 kg/m³) para fibras micro sintéticas, 3-15 lb/yd³ (1.8-9.0 kg/m³) para fibras macro sintéticas, y 26-132 lb/yd³ (15-78 kg/m³) [ACI Committee 544 2008].

La adición de fibras afecta las propiedades plásticas y en estado endurecido de los morteros y de los concretos [ACI Committee 544 2008]. Dependiendo del material de la fibra, longitud y diámetro, geometría y deformación, y la tasa de adición, muchas propiedades son ganadas, notablemente el control del agrietamiento por encogimiento plástico, la resistencia al impacto, y la tenacidad o ductilidad [ACI Committee 544 2008]. La resistencia a la flexión, la resistencia a la fatiga y cortante, y la capacidad para resistir agrietamiento o desprendimiento de material pueden ser aumentadas por proveerle al material compuesto alguna resistencia post-agrietamiento (resistencia residual) en el estado plástico o estado endurecido [ACI Committee 544 2008].

Hay numerosos tipos de fibras disponibles para uso comercial y para uso experimental, y las categorías básicas son fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas, y fibras naturales [ACI Committee 544 2002]. La tecnología de los compuestos basados en matrices cementicias reforzados con fibras sintéticas está rápidamente creciendo a la

par del área de la tecnología de los reforzados con fibras de acero debido a la disponibilidad de un espectro amplio de los tipos de fibras y un amplio rango de obtención de compuestos mejorados, de tal forma que con el uso de contenidos de fibras hasta un 0.1% en volumen se obtienen aplicaciones de mezclas en la elaboración de elementos que requieren control del sangrado y del agrietamiento y contracción plástica, mientras que volúmenes entre el 0.4-0.7% han permitido obtener ganancias significativas en las propiedades, principalmente el incremento de la tenacidad después del agrietamiento, con una mejor distribución de las grietas y disminución de su ancho [ACI Committee 544 2002].

Las fibras usadas en la industria de la construcción, para compuestos fibro-reforzados, categorizadas como sintéticas corresponden a la variedad de fibras de otros materiales diferentes al acero, el vidrio y las fibras naturales; las fibras sintéticas son fibras fabricadas por el hombre resultado de la investigación y el desarrollo en las industrias petroquímica y textil, son derivadas de polímeros orgánicos los cuales están disponibles en una variedad de formulaciones, y los tipos de fibras que han sido tratadas en matrices basadas en pasta de cemento son: acrílico, aramida, carbono, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno [ACI Committee 544 2002]. En la tabla 1, se resume el rango de las propiedades físicas de los diferentes tipos de fibras sintéticas seleccionadas [ACI Committee 544 2002].

Las fibras de polipropileno en forma de monofilamento son producidas en un proceso de extrusión en el cual el material es trazado en calor a través de un disco de sección circular, generando un número de filamentos continuos de una vez. [ACI Committee 544 2002]. Las fibras de polipropileno fibriladas son el producto de un proceso de extrusión donde el disco es rectangular, resultando en unas hojas de película de polipropileno que están tejidas longitudinalmente dentro de cintas de igual ancho; las fibras son manufacturadas en paquetes pequeños fibrilados, es decir que están hechos de muchas fibras pequeñas, y cuyos paquetes durante el proceso de mezclado del compuesto son cortados, por el movimiento de los agregados, en paquetes más pequeños o en fibras individuales (figura 2) [THE ABERDEEN GROUP 1983; ACI Committee 544 2002].

| Tipo de Fibra | Diámetro equivalente [plg] x 10 ⁻³ | Gravedad específica | Resistencia a tensión [ksi] | Módulo de elasticidad [ksi] | Elongación última [%] | Temperatura de ignición [°F] | Temperatura de fundición, oxidación o descomposición [°F] | Absorción de agua, Método ASTM D 570, [%] |
|-------------------------|---|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|---|---|
| Acrílico | 0.5-4.1 | 1.16-1.18 | 39-145 | 2000-2800 | 7.5-50.0 | - | 430-455 | 1.0-2.5 |
| Aramida I | 0.47 | 1.44 | 425 | 9000 | 4.4 | Alta | 900 | 4.3 |
| Aramida II ¹ | 0.40 | 1.44 | 340 | 17000 | 2.5 | Alta | 900 | 1.2 |
| Carbón ² | 0.30 | 1.6-1.7 | 360-440 | 55100 | 0.5-0.7 | Alta | 752 | - |
| Carbón ³ | 0.35 | 1.6-1.7 | 500-580 | 33400 | 1.0-1.5 | Alta | 752 | - |
| Carbón ⁴ | 0.39-0.51 | 1.6-1.7 | 70-115 | 4000-5000 | 2.0-2.4 | Alta | 752 | 3-7 |
| Carbón ⁵ | 0.35-0.70 | 1.80-2.15 | 220-450 | 22000-70000 | 0.5-1.1 | Alta | 932 | - |
| Nylon | 0.90 | 1.14 | 140 | 750 | 20 | - | 392-430 | 2.8-5.0 |
| Poliéster | 0.78 | 1.34-1.39 | 33-160 | 2500 | 12-150 | 1100 | 495 | 0.4 |
| Poliétileno | 1.0-40.0 | 0.92-0.96 | 11-85 | 725 | 3-80 | - | 273 | - |
| Polipropileno | - | 0.90-0.91 | 20-100 | 500-700 | 15 | 1100 | 330 | - |

¹Módulo alto

²Basado en Poliacrilonitrilo, módulo alto.

³Basado en Poliacrilonitrilo, módulo alto de tensión.

⁴Propósito general.

⁵Alto desempeño.

Equivalentes métricos: 1 plg = 25.4 mm, 1 ksi = 6.895 MPa, (°F - 32)/1.8 = °C

Tabla 3.19. Tipos de fibras sintéticas seleccionadas y sus propiedades [ACI Committee 544 2002]



Figura 3.20. Tipos de fibras de polipropileno: monofilamento, multifilamento y fibrilada [THE ABERDEEN GROUP 1983; ACI Committee 544 2002]

El polipropileno es hidrofóbico lo que significa que no absorbe agua, y aunque no se espera que las fibras de polipropileno se adhieran químicamente en una matriz cementicia se ha mostrado que la adherencia ocurre por interacción mecánica [ACI Committee 544 2002]. Las fibras de polipropileno son producidas de resina de polipropileno homopolímero, su punto de fusión y módulo de elasticidad (que es relativamente mucho más bajo que en otros tipos de fibras) puede ser una limitación en ciertos procesos, sin embargo en la manufacturación de productos refractarios se usan fibras de polipropileno para proveerles canales vacíos internos que se usan para el control de cambios térmicos o de contenido de humedad [ACI Committee 544 2002].

Fibras generalmente tienden a endurecer una mezcla, y hacen que parezca dura cuando a pesar de que todavía puede responder bien.

A través de los años, un gran número de pruebas de trabajabilidad se han ideado. Koehler y Fowler han descrito 61 métodos de prueba diferentes, aunque sólo algunas de ellas nunca han sido adoptadas como normas, y menos aún se utilizan para cementos reforzados con fibras.

Muchas de las aplicaciones de las fibras están destinadas a reducir la sensibilidad al agrietamiento por contracción plástica. Para determinar la mejora ofrecida por las fibras, es necesario poner a prueba la sensibilidad de agrietamiento durante las primeras horas de secado. Los morteros pueden mostrar una reducción de la contracción plástica debido a la presencia de fibras, esto no necesariamente indican una reducción general en la tendencia a la fisuración.

La tendencia a la fisuración sólo se puede juzgar sobre la base de pruebas mediante la observación de la naturaleza de las grietas desarrollados y su tiempo de formación.

El significado físico de la mayor parte de las pruebas que se han propuesto es limitado, y por lo tanto sólo se pueden utilizar para una evaluación comparativa cualitativa de los efectos de las fibras, mediante la comparación de la naturaleza observada de las grietas y su tiempo de formación en diferentes mezclas.

Las fibras tienen relativamente poco efecto sobre la resistencia a compresión del hormigón o mortero, y no hay ningún método de pruebas especiales para esta propiedad. Se están utilizando las mismas pruebas para la resistencia a compresión de hormigón en masa y al mortero reforzado con fibras.

Las fibras sintéticas (polímeros) se utilizan cada vez para el refuerzo de materiales de cemento. Algunas fibras, tales como el polipropileno, se utilizan muy extensamente, y muchas fibras están disponibles que se han formulado y producido específicamente para el refuerzo de morteros y hormigones. Las propiedades de las fibras sintéticas varían ampliamente con respecto a resistencia y módulo de elasticidad, como se muestra para algunas de las fibras comunes. Para aumentar la resistencia de los materiales compuestos, las fibras deben tener un módulo de elasticidad mayor que la de la matriz. Para materiales de cemento, para el cual el módulo de elasticidad oscila desde aproximadamente 15 a 40 GPa, esta condición es difícil de cumplir con la mayoría de las fibras sintéticas. Por lo tanto, algunas fibras de alta tenacidad han sido desarrollado para refuerzo de cemento, donde el término "alta tenacidad" se refiere a fibras con un alto módulo de elasticidad, acompañados por una alta resistencia. Sin embargo, la investigación aplicada ha demostrado que, incluso con bajo módulo fibras, se pueden obtener mejoras considerables con respecto a la capacidad, dureza, resistencia al impacto y al control de la fisuración de los materiales compuestos de FRC.

En la mayoría de las aplicaciones, la mejora de estas propiedades es de una importancia mucho mayor que un modesto incremento de la resistencia a la tracción o flexión.

El trabajo pionero sobre fibras sintéticas se ha descrito en detalle por Zonsveld, Hannant y Krenchel y Shah. Este primer trabajo hizo hincapié en la necesidad de superar las desventajas debido al bajo módulo de elasticidad y la mala unión con la matriz. El último fue, en particular, un problema con muchas de las primeras fibras sintéticas, debido a su composición química y propiedades de la superficie. Los avances en este campo, en particular, con fibras de polipropileno, sólo se hizo posible cuando se reconoció que las fibras con propiedades especiales se tuvieron que desarrollar aplicaciones para cemento y hormigón, tendencia que aún continúa. Cabe señalar, sin embargo, que muchas de las actuales modificaciones de fibra son de propiedad, y la información sobre los cambios inducidos en la estructura de la fibra no está fácilmente disponible en la literatura abierta. Por lo tanto, en la discusión posterior de las propiedades de cada uno de los sistemas de CRF específicos, se debe tener en cuenta que pueden producirse diferencias en el comportamiento y las propiedades dentro de la misma "familia" de las fibras. Características tales como el módulo de elasticidad, facilidad de dispersión, la geometría de la fibra, etc., pueden no ser los mismos para las fibras clasificadas bajo el mismo nombre.

| Fibre type | Diameter (μm) | Specific gravity | Tensile strength (GPa) | Elastic modulus (GPa) | Ultimate elongation (%) |
|------------------------|----------------------------|------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Acrylic | 20–350 | 1.16–1.18 | 0.2–1.0 | 14–19 | 10–50 |
| Aramid (Kevlar) | 10–12 | 1.44 | 2.3–3.5 | 63–120 | 2–4.5 |
| Carbon (PAN) | 8–9 | 1.6–1.7 | 2.5–4.0 | 230–380 | 0.5–1.5 |
| Carbon (Pitch) | 9–18 | 1.6–1.21 | 0.5–3.1 | 30–480 | 0.5–2.4 |
| Nylon | 23–400 | 1.14 | 0.75–1.0 | 4.1–5.2 | 16–20 |
| polyester | 10–200 | 1.34–1.39 | 0.23–1.2 | 10–18 | 10–50 |
| Polyethylene | 25–1000 | 0.92–0.96 | 0.08–0.60 | 5 | 3–100 |
| Polyolefin | 150–635 | 0.91 | 275 | 2.7 | 15 |
| Polypropylene | 20–400 | 0.9–0.95 | 0.45–0.76 | 3.5–10 | 15–25 |
| PVA | 14–650 | 1.3 | 0.8–1.5 | 29–36 | 5.7 |
| Steel (for comparison) | 100–1000 | 7.84 | 0.5–2.6 | 210 | 0.5–3.5 |
| Cement matrix | — | 1.5–2.5 | 0.003–0.007 | 10–45 | 0.02 |

Note

a The values in the table are for fibres that are commercially available. They may vary considerably from manufacturer to manufacturer.

Tabla 3.21. Propiedades típicas de fibras sintéticas

Polipropileno

Las fibras de polipropileno se producen a partir de resina de polipropileno homopolímero en una variedad de formas y tamaños y con diferentes propiedades. Los principales ventajas de estas fibras son su resistencia a los álcalis, punto de fusión relativamente alto (165 °C) y el bajo precio de los materiales. Sus desventajas son mala resistencia al fuego, la sensibilidad a la luz solar y el oxígeno, un bajo módulo de elasticidad (GPa 1-8) y la mala unión con la matriz. Estas desventajas aparentes no son necesariamente crítico. El empotramiento en la matriz proporciona una cubierta protectora, ayudando a minimizar la sensibilidad al fuego y otros efectos ambientales. Las propiedades mecánicas, en particular, el módulo de elasticidad, puede fácilmente ser mejorado. Una serie de diferentes fibras de polipropileno para usar con matrices de cemento se han desarrollado y se comercializan en el mercado.

Las fibras de polipropileno son de alto isotáctico peso molecular polipropileno. Debido a la disposición atómica estéricamente regular de la macro-molécula, que puede ser más fácilmente producido en forma cristalina, y luego procesada por el estiramiento para lograr un alto grado de orientación, lo cual es necesario para obtener buenas propiedades de la fibra. Las fibras de polipropileno se pueden hacer en tres geometrías diferentes, las cuales han sido utilizadas para el refuerzo de matrices cementosas: monofilamentos, película y la cinta extruida. Las tres formas se han utilizado con éxito para el mortero y el hormigón armado.

Las fibras de polipropileno monofilamento son producidas por un proceso de extrusión, en el que la resina de polipropileno caliente es aspirada a través de un troquel de sección transversal circular. Un gran número de filamentos continuos se producen en un momento, y luego se corta a las longitudes apropiadas.

La película de polipropileno también es producida por un proceso de extrusión, con el material que está siendo extraído a través de una matriz rectangular. La película resultante consiste en un complejo microestructura de material amorfo y microfibras cristalinas. El dibujo de tales películas aumenta la orientación y la mejora de las propiedades mecánicas, pero deja la película débil en la dirección lateral. La película se corta longitudinalmente en cintas de la misma anchura. Un patrón reticular de fibras de interconexión se producirá mediante la elaboración mecánica de las cintas en un molinete especialmente modelado.

Las fibras de polipropileno se pueden producir también en forma de mallas continuas para la producción de componentes de capa fina, hecho mediante la impregnación de la malla de polipropileno fibrilada con pasta de cemento o mortero. La estructura de la red de malla de la cinta fibrilada se destina a mejorar la unión con la matriz, proporcionando un efecto de enclavamiento.

En aplicaciones en las que el polipropileno fibrilado se mezcla en forma de fibras cortas en una matriz de cemento, la fibrilación juega un importante papel adicional. Proporciona una estructura inicial de paquetes, filamentos reticulados juntos. Este paquete puede dispersar uniformemente en la matriz en forma de filamentos (fibrillas) que se separan de la fibra fibrilada durante la operación de mezcla.

La durabilidad de polipropileno FRC principalmente se ha evaluado en componentes de chapa fina, donde las fibras son el refuerzo primario. Las fibras de polipropileno son conocidos por su alta resistividad alcalina, y por lo tanto se esperaría que 394 compuestos cementosos con diferentes fibras mantienen su fuerza en la matriz altamente alcalina. Esto ha sido confirmado por muchos investigadores (por ejemplo, Hannant y Hughes). Sin embargo, podría esperarse otros problemas, debido a la oxidación y los efectos de ablandamiento a temperatura elevada. El último es una función de la temperatura de fusión de aproximadamente 165 °C. La sensibilidad a la radiación UV no se espera que sea crítica ya que el polímero está protegido por la matriz.

Krenchel observó una importante reducción en la resistencia a la flexión de alto volumen de fibra (10%) compuestos cuando la temperatura supere los 120 °C, que atribuyó al ablandamiento de la fibra. El módulo de elasticidad del material compuesto también se

redujo al aumentar la temperatura, pero mucho más gradual, lo que refleja el hecho de que esta propiedad es esencialmente dependiendo de la matriz.

Bayasi y Dhaheri también encontraron que la exposición prolongada a temperaturas en el intervalo de 100-200 °C condujo a una disminución de la resistencia a la flexión y la capacidad de soporte de carga en hormigones de fibras de polipropileno. Sin embargo, no hubo efecto de la exposición a temperaturas inferiores a 100 °C. Estos (y similares) resultados sugieren que el compuesto funcionará correctamente a las temperaturas ambiente altas, que se pueden encontrar en la práctica en climas calientes (40-50 °C), pero no cuando los riesgos de incendio se consideren altos.

La combustibilidad del polipropileno no es un problema particular cuando las fibras están en la matriz de cemento, en su lugar, se funden y se volatilizan durante el incendio, dejando tras de canales vacíos y la porosidad adicional. De hecho, esta propiedad de las fibras se ha usado para proporcionar una protección adicional contra el fuego para el acero de refuerzo, como los canales vacíos proporcionan una 'vía de escape' para el vapor que se forma durante un incendio, minimizando desconchado del hormigón debido a las altas presiones de vapor.

Kalifa mostró el efecto notable de las fibras en el hormigón de alto rendimiento a temperaturas superiores a 200 °C, y resultados similares fueron presentados por Dehn y Konig y Velasco. Además, Chan encontró que incluso después de que el polipropileno se había evaporado fuera, no dio lugar a una reducción en las propiedades mecánicas del hormigón.

Cabe señalar que las propias fibras de polipropileno pueden encoger por 3-15% en calentar a justo por debajo de su punto de fusión, pero esto en sí mismo no parece tener ningún efecto mecánicas significativas.

La resistencia a la oxidación de fibras de polipropileno se estudió por Mai, para evaluar el rendimiento del material compuesto en el curado. Esto es particularmente importante en aplicaciones en las que la FRC de polipropileno tratan de sustituir el amianto-cemento, que a menudo son curados. Ellos encontraron que el tratamiento térmico de las fibras de polipropileno a 140 °C no dio lugar a una reducción en su resistencia o ductilidad. Sin embargo, el tratamiento a 140 °C condujo a una pérdida de la ductilidad de la fibra sin reducción de la resistencia, mientras que la calefacción extendida adicional a 116 C también dio lugar a una reducción de la resistencia.

Hannant y Hughes encontraron que el polipropileno reforzado con fibra de composites expuestos al aire de laboratorio o erosión natural exhibía algunos cambios en las propiedades, pero éstos fueron atribuidos principalmente a los cambios en la matriz, la resistencia de la fibra y el enlace de fibra-matriz se mantuvieron constante.

3.9.-Aplicación para suelo radiante

En la localidad vizcaína de Urduliz se ha construido un edificio singular mediante suelo radiante con anhidrita



Figura 3.22. Edificio integrado en el paisaje gracias a su estructura mineral

(Anon., 2011) El uso de mortero ecológico de anhidrita ha permitido que el suelo tenga un mínimo espesor, facilitando el control de la inercia del sistema radiante.

El producto utilizado para recubrir el sistema radiante fue un mortero autonivelante de anhidrita. El uso de este mortero ecológico de anhidrita frente a otro ha posibilitado que los 538 m² de superficie sobre los que se ha aplicado este producto tengan un espesor mínimo (en concreto de 5 cm), lo que facilita el control de la inercia del sistema radiante. Por otro lado, la alta conductividad térmica del mortero (2.02 W/mK) y su gran fluidez (100% autonivelante) facilitan la transmisión y distribución del calor, mejorando el rendimiento energético. Todo ello desemboca en un ahorro de casi el 14% en el consumo energético anual, logrando por tanto una reducción de emisiones de más de 50 toneladas equivalentes de CO₂ anuales.

El revestimiento elegido en este caso fue el sistema “Mastertop 1325”, un pavimento autonivelante en 2-3 mm y amortiguador de ruidos por impacto. Este recubrimiento de resina de poliuretano se aplica en forma líquida y, una vez polimerizado, queda completamente

continuo, adherido firmemente al soporte sin que se produzcan juntas.

El revestimiento queda inerte químicamente tras la polimerización y, al no absorber ni suciedad ni líquidos, es fácil de limpiar, aportando de esa manera un clima ambiental higiénico.

La principal ventaja de este tipo de sistemas de pavimento basados en poliuretanos es la posibilidad de renovación de la capa superior o de acabado (proceso denominado “retopping” -renovación superficial-) sin tener que eliminar de forma completa el sistema de pavimento, incidiendo positivamente en el ciclo de vida del mismo.



Figura 3.23. Acabado de suelo radiante con mortero autonivelante

CAPÍTULO 4

PLAN EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo este proyecto fin de grado se pueden distinguir dos líneas experimentales. La primera de ellas se basa en la búsqueda de una dosificación adecuada para conseguir un mortero que tenga la característica de ser autonivelante. Una vez obtenida la dosificación a adoptar, en la segunda línea experimental se tratará de realizar los ensayos necesarios para conocer las características más relevantes en su utilización como solera continua de elevada conductividad térmica.

En los sucesivos apartados se presenta, de manera pormenorizada, todos los materiales empleados y los pasos seguidos para desarrollar el estudio, así como los procedimientos regulados por las normas tecnológicas Españolas UNE-EN (AENOR) para realizar los ensayos necesarios.

4.1.- Criterios de diseño

Como ya se ha especificado en el capítulo 1 un mortero autonivelante debe cumplir ciertas propiedades tanto en estado fresco como endurecido, por lo que su dosificación debe estudiarse cuidadosamente. Los criterios adoptados para su fabricación han sido los expuestos a continuación:

- La cantidad de cemento será de 330 kg/m³ de mortero.
- Tamaño máximo del árido 4 mm, utilizándose arena 0/2 y arena 0/4.
- La cantidad de partículas de árido fino (que pasan por el tamiz 0,063 mm) añadida, incluida la adición del cemento, debe ser aproximadamente 550 kg/m³ de mortero.
- La relación agua/cemento deberá reducirse lo máximo posible.
- Por razones de economía, la cantidad de aditivos a emplear debe ser la mínima posible.
- Deberá tener una consistencia fluida, escurrimiento aproximado de 220 mm, y ser cohesivo.

4.2.- Caracterización de los componentes

Los materiales utilizados en la fabricación de morteros autonivelantes son los mismos que se emplean para un mortero convencional, pero las proporciones utilizadas en su dosificación son distintas, especialmente en lo relativo al contenido de agua y de materiales finos, para evitar riesgos de segregación.

Por otra parte, la utilización de aditivos superfluidificantes es imprescindible a la hora de obtener este tipo de morteros, ya que se busca la fluidez del mortero sin prescindir de su calidad.

4.2.1.- Cemento

El cemento es el conglomerante hidráulico más empleado en la construcción. Los cementos en España están regulados por la Instrucción para la Recepción de Cementos RC-08 (MFOM 2008) y la Norma UNE-EN 197-1:2011 (AENOR). Las proporciones de cemento en un mortero dependen de su aplicación.

La norma de morteros no indica un tipo específico de cemento CEM para la realización de morteros, pero tenemos a nuestra disposición en el laboratorio, gracias a la casa comercial CEMENTVAL, un cemento CEM II/B-M (S-L) 42,5 R.

Es un cemento Portland mixto, de gama baja de clinker, tipo CEM II/B-M con adición de escoria de horno alto y caliza (S-L) comprendidas entre el 21% y el 35%, de resistencia media 42,5 MPa a los 28 días y resistencia inicial elevada (R). En las tablas 4.1. y 4.2. se indican sus especificaciones técnicas.

Se suministra en sacos de 25 kg con Certificación de Conformidad CE concedido por APPLUS. Consultar anejo de estudio de los componentes para ver ficha técnica.

| | |
|--|--------------------------|
| Componentes | |
| Clinker | 65 a 79 % |
| Escoria de horno alto | 21 a 35 % |
| Caliza | |
| Componentes minoritarios | 0 a 5% |
| Características químicas | |
| Anhídrido Sulfúrico (SO ₃) | ≤ 4,0 % |
| Cloruros (Cl) | ≤ 0,1 % |
| Características físicas | |
| Principio de fraguado | ≥ 60 minutos |
| Expansión Le Chatelier | ≤ 10 mm |
| Resistencias a compresión | |
| 2 días | ≥ 20,0 MPa |
| 28 días | ≥ 42,5 Mpa ≤ 62,5 MPa |

Tabla 4.1. Especificaciones técnicas del cemento según la norma UNE-EN 197-1:2011

| Componentes | |
|--|--------------------------|
| Clinker | 65 a 79 % |
| Escoria de horno alto | 21 a 35 % |
| Caliza | |
| Componentes minoritarios | 0 a 5% |
| Características químicas | |
| Anhídrido Sulfúrico (SO ₃) | ≤ 4,0 % |
| Cloruros (Cl) | ≤ 0,1 % |
| Características físicas | |
| Principio de fraguado | ≥ 60 minutos |
| Expansión Le Chatelier | ≤ 10 mm |
| Resistencias a compresión | |
| 2 días | ≥ 20,0 MPa |
| 28 días | ≥ 42,5 Mpa ≤ 62,5 MPa |

Tabla 4.2. Especificaciones técnicas del cemento según la norma UNE-EN 197-1:2011



Figura 4.3. Saco de cemento de 25 kg

4.2.2.- Áridos

Los áridos influyen de forma determinante en las propiedades físicas del mortero al unirse al cemento. En general no son aceptables áridos que contengan sulfuros oxidables, silicatos inestables o componentes de hierro igualmente inestables.

Aunque las arenas no toman parte activa en el fraguado y endurecimiento del mortero, desempeñan un papel técnico muy importante en las características de este material, porque conforman la mayor parte del volumen total del mortero. Por ello, podríamos decir que la arena es la esencia del mortero. De ahí la importancia de conocer algunas de sus características.

En la norma UNE-EN 13139/AC:2004 (AENOR) se especifican las propiedades de los áridos para su utilización en morteros para pavimentos. Para realizar nuestros ensayos hemos utilizado las arenas disponibles en Laboratorio de Materiales de la Escuela, estas arenas son de machaqueo.

Las arenas reciben una denominación nominal (d/D) en milímetros en términos del menor (d) y del mayor (D) tamaño de los tamices, dentro de los cuales se encuentra la mayor parte del árido.

En la realización de nuestros morteros hemos utilizado las arenas 0/2 y 0/4. Como árido 0/2 se ha utilizado el mismo en todos los ensayos. Debido a contratiempos, el árido 0/4 utilizado en las primeras dosificaciones se terminó, por lo que al suministrarnos uno nuevo hubo que realizar otra vez el estudio granulométrico para conocer sus nuevas características. En el anejo de estudio de los componentes, se analiza el proceso para el análisis de las granulometrías, así como el cálculo de la humedad de las arenas.

En los gráficos siguientes se muestran las granulometrías de las arenas estudiadas.

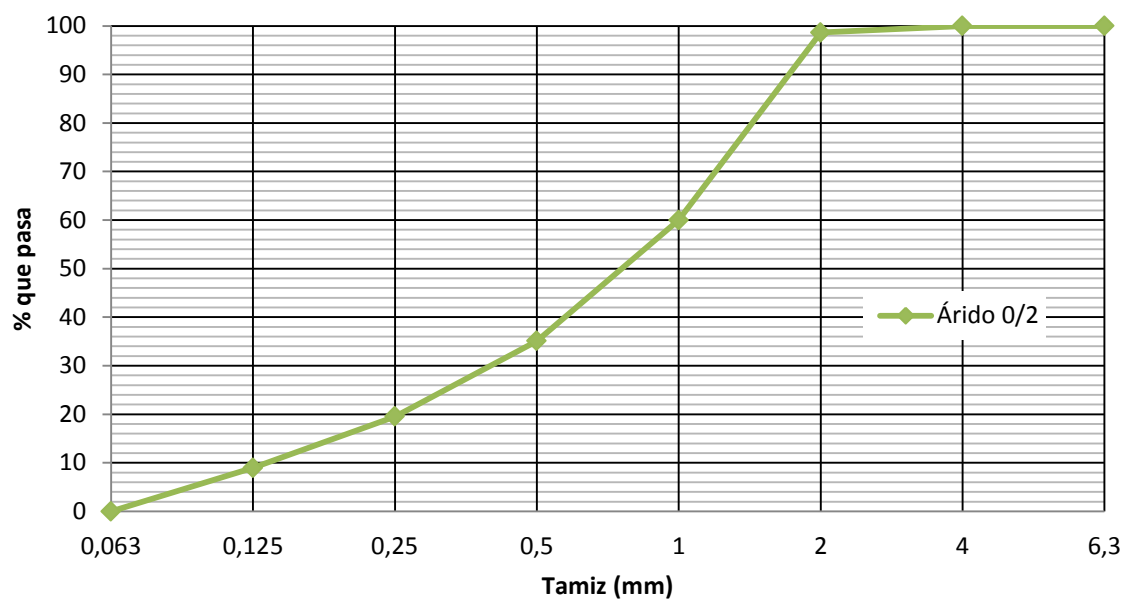


Figura 4.4. Granulometría árido 0/2

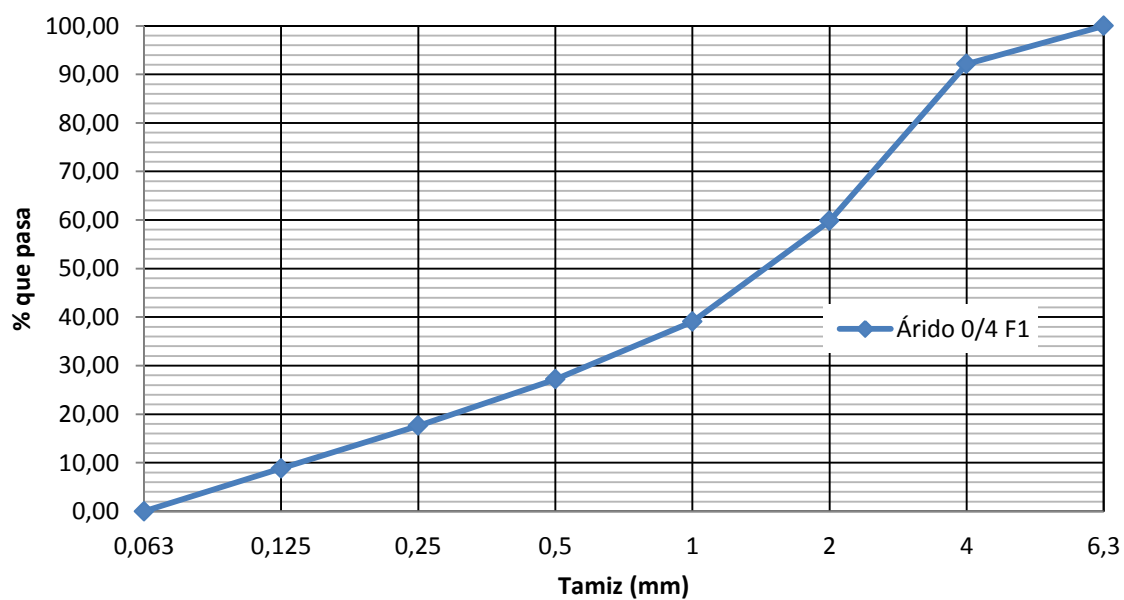


Figura 4.5. Granulometría árido 0/4 Fase 1

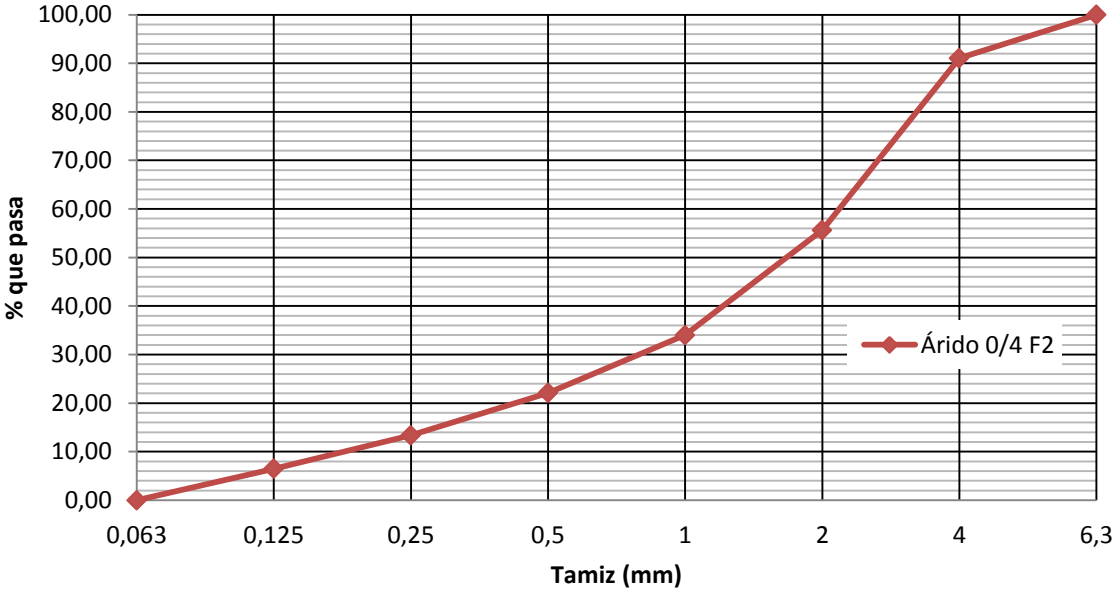


Figura 4.6. Granulometría árido 0/4 Fase 2

4.2.3.- Agua

El agua utilizada en el amasado debe ser de naturaleza inocua. No contendrá ningún agente en cantidades que alteren las propiedades del mortero, tales como sulfatos, cloruros, etc. Se pueden emplear todas aquellas aguas cuya experiencia práctica se haya contrastado favorablemente.

Siguiendo las especificaciones de la norma UNE-EN 196-1:2005 (AENOR), en la elaboración de la masa de mortero, se ha utilizado agua procedente de las instalaciones del Laboratorio de Materiales de la Escuela.

Se han realizado diversos estudios a lo largo de los años con el agua suministrada en el dicho Laboratorio, por lo que el agua se considera apta para su uso.

4.2.4.- Aditivos

La función de los aditivos es aportar a las propiedades del mortero, tanto en estado fresco como endurecido, determinadas modificaciones. La norma UNE-EN 934-2:2010+A1:2012 (AENOR) define los distintos tipos de aditivos.

El requisito principal de los aditivos según la norma es que deben estar uniformemente repartidos en el mortero. Todos ellos deben cumplir los requisitos generales de la tabla 1 de la norma.

Las dosificaciones de partida de los aditivos se establecieron a partir de la información existente, resultando que en la práctica profesional se utilizaban los valores de la tabla 4.7.

En el anejo de estudio de los componentes se pueden comprobar sus fichas técnicas.

| Material | Proporciones | Producto comercial | Figura |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------|--------|
| Superfluidificante | 1,2 a 1,5 % peso del cemento | SikaPlast-380 | 4.12. |
| Aireante | 0 a 0,1 % peso del cemento | Sika ViscoMAC Aer 10 | 4.13. |
| Retardador de fraguado | 0 a 0,15 % peso del cemento | Sika ViscoMAC Retarder 20 | 4.14. |
| Controlador de fisuración | 1 % peso del cemento | Sika ViscoMAC Control 30 | 4.15. |

Tabla 4.7. Aditivos utilizados

A continuación, en las tablas 4.8. a 4.11. se pueden observar las principales características de los distintos aditivos especificados anteriormente.

| Producto: SikaPlast-380 | |
|--|--|
| Forma | |
| Apariencia/color | Líquido verde |
| Presentación | Contenedores de 1 m ³ . Bajo pedido puede suministrarse a granel |
| Almacenamiento | |
| Condiciones de almacenamiento/conservación | 12 mese desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar seco y fresco protegiéndolos de las heladas y el frío excesivo, a una temperatura entre +5°C y +30°C. Proteger de la exposición a la luz directa del sol. |
| Datos técnicos | |
| Composición química | Polímeros modificados en solución acuosa |
| Densidad (20°C) | Aprox. 1,1 kg/l |
| Contenido de sólidos | Aprox. 25% |
| Valor del pH | Aprox. 5 |

Tabla 4.8. Aditivo superfluidificante

| Producto: Sika ViscoMAC Aer 10 | |
|--|---|
| Forma | |
| Apariencia/color | Líquido marrón |
| Presentación | Garrafa de 25 kg |
| Almacenamiento | |
| Condiciones de almacenamiento/conservación | 6 meses desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar fresco y seco, entre +5°C y +30°C al resguardo de las heladas. |
| Datos técnicos | |
| Densidad (20°C) | Aprox. 1,1 kg/l |

Tabla 4.9. Aditivos aireante o inclusor de aire

| Producto: Sika ViscoMAC Retarder 20 | |
|--|---|
| Forma | |
| Apariencia/color | Líquido marrón |
| Presentación | Garrafa de 25 kg |
| Almacenamiento | |
| Condiciones de almacenamiento/conservación | 6 meses desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar fresco y seco, entre +5°C y +30°C al resguardo de las heladas. |
| Datos técnicos | |
| Densidad (20°C) | Aprox. 1,2 kg/l |

Tabla 4.10. Aditivos retardador de fraguado

| Producto: Sika ViscoMAC Control 30 | |
|--|--|
| Forma | |
| Apariencia/color | Líquido incoloro |
| Presentación | Garrafa de 25 kg |
| Almacenamiento | |
| Condiciones de almacenamiento/conservación | 12 meses desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar fresco y seco, entre +5°C y +30°C al resguardo de las heladas. |
| Datos técnicos | |
| Densidad (20°C) | Aprox. 0,935 kg/l |

Tabla 4.11. Aditivos controlador de fisuración



Figura 4.12. Aditivo superplastificante



Figura 4.13. Aditivo inclusor de aire



Figura 4.14. Aditivo retardador de fraguado



Figura 4.15. Aditivo control de fisuración

4.2.5.- Fibras multifilamento de polipropileno

Como refuerzo de los morteros se utilizaron las fibras multifilamento de polipropileno, que están diseñadas para aumentar la durabilidad y evitar la fisuración plástica. En la norma UNE-EN 14889-2:2008 (AENOR) se especifican los requisitos establecidos para las fibras poliméricas en su uso estructural o no estructural para morteros. Estas fibras cuyo polímero es el polipropileno, son de clase Ib, micro fibras, al tener un diámetro < 0,30 mm y ser multifilamento (fibrilosas).

En las figuras 4.17. y 4.18. se pueden observar las fibras y la bolsa en las que vienen contenidas. En el anejo de estudio de los componentes se adjunta la ficha técnica.

| Producto: Sikafiber M-12 | |
|--|---|
| Forma | |
| Presentación | Bolsas de 600 g autodestruibles en la masa de hormigón o mortero. Caja de 20 bolsas. |
| Almacenamiento | |
| Condiciones de almacenamiento/conservación | En lugar seco y fresco. Conservación ilimitada. |
| Datos técnicos | |
| Composición química | Fibras de polipropileno |
| Densidad (20°C) | Aprox. 0,935 kg/l |
| Absorción de agua | Nula |
| Alargamiento a rotura | 80-140% |
| Resistencia química | Resistente a los rayos ultravioletas. Inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. Imputrescible, resistente a hongos y bacterias. |
| Longitud | 12 mm |
| Tenacidad | 280-310 N/mm ² /30-34 cn/tex |
| Punto de fusión | 163-170 °C |
| Diámetro de fibras | 31 micrómetros |
| Número de fibras | 102 millones/kg |

Tabla 4.16. Fibras multifilamento de polipropileno



Figura 4.17. Fibras polipropileno multifilamento



Figura 4.18. Bolsa "Sikafiber M-12"

4.3.- Proceso de fabricación

Puesto que las exigencias y especificaciones en cuanto al comportamiento de un mortero autonivelante calefactado no están claramente definidas en la normativa vigente, es necesario, establecer un plan experimental que nos permita tipificar de forma lo más óptima posible las propiedades de este material.

Para ello, se va a seguir el plan experimental establecido a continuación.

Primeramente se estudiará la dosificación que nos permita obtener un mortero con las siguientes especificaciones obtenidas de la consulta con empresas que se dedican a la realización de morteros autonivelantes a nivel industrial.

- ✓ Diámetro del escurrimiento: ≈ 220 mm
- ✓ Consistencia: Fluida

Para ello, se seguirán los criterios de diseño indicados en el apartado 4.1. Se realizaran amasadas de 1 litro cada una y se comprobará el escurrimiento en cada una de las pruebas realizadas. El criterio de aceptación o rechazo será en función principalmente de la consistencia.

Partimos de una dosificación aportada por una casa comercial que realiza este tipo de morteros, de relación agua/cemento 0,68 y cantidad de aditivo superfluidificante de 1,5 %.

Una vez obtengamos la dosificación considerada como adecuada, se procederá a la fabricación de dicha dosificación escogida y se ensayará.

Se propondrán 6 casos a estudiar partiendo de la dosificación elegida añadiendo distintas proporciones de aditivos y reforzando, en ocasiones, con fibras multifilamento. Para cada uno de los casos sin fibras se realizarán los ensayos de escurrimiento, periodo de trabajabilidad y resistencias mecánicas. Para los 6 casos con fibras se ensayará: el escurrimiento, las resistencias mecánicas y la resistencia térmica. En el caso del ensayo del aire ocluido se ensayará la dosificación base (patrón) y se comparará con la misma añadiendo: aireante, fibras multifilamento y varias proporciones de retardador de fraguado.

Para finalizar se estudiarán los resultados obtenidos. Este apartado se corresponde al capítulo 6 análisis de resultados, de este proyecto final de grado.

El procedimiento a seguir para la realización de los morteros se detalla en el apartado 5.1. proceso de fabricación.

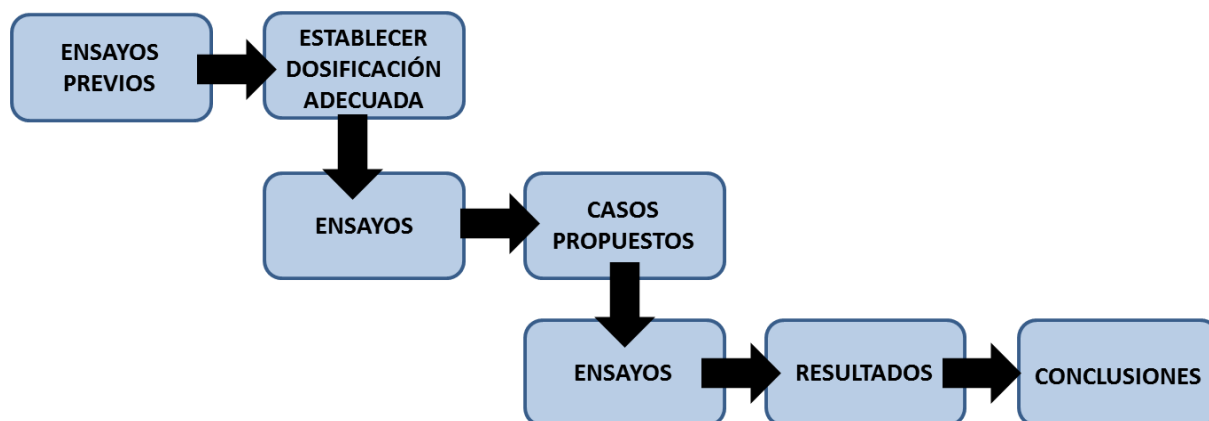


Figura 4.19. Esquema general del plan experimental

4.4.- Descripción de los ensayos

Las características exigidas a las pastas autonivelantes están relacionadas con su uso según la norma UNE-EN 13813:2003 (AENOR). Sus propiedades y características dependen de su utilización, y se clasifican en dos grupos: las relacionadas con la pasta fresca y las relacionadas con la pasta endurecida.

En la tabla 4.20. de la norma se indican las características a ensayar. Para pastas a base de cemento solo indica como obligatorios por norma los ensayos de resistencia a compresión y flexión, así como la resistencia al desgaste. En nuestro caso no consideramos una característica importante para su uso como suelo radiante el desgaste.

Por otro lado como ensayos opcionales en estado fresco hemos considerado interesante realizar la consistencia, ya que es un requisito para los morteros autonivelantes. El tiempo de fraguado no nos parece una característica a resaltar, pero consideramos importante saber el periodo de trabajabilidad de un mortero para su puesta en obra. Al utilizarse como solera de alta conductividad, otro aspecto a considerar, fue el aire ocluido ya que el aire es un aislante térmico y podría reducir de manera significativa su conductividad.

Como características del estado endurecido hemos tomado las indicadas por la norma de resistencia a compresión y flexotracción, así como la resistencia térmica que consideramos importante debido a su uso como suelo radiante.

| Materiales de pastas | Resistencia a la compresión | Resistencia a flexión | Resistencia al desgaste "Böhme" | Resistencia al desgaste "BCA" | Resistencia al desgaste por rodadura | Dureza superficial | Resistencia a la penetración | Resistencia al desgaste por rodadura en suelos | Tiempo de fraguado | Retracción e hinchamiento | Consistencia | Valor de pH | Módulo de elasticidad | Resistencia al impacto | Resistencia a la tracción |
|--|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------------------|--|--------------------|---------------------------|--------------|-------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|
| Cemento | N | N | N ^a (uno de tres) | | O | - | O | O | O | O | O | O | O | O ^a | O |
| Sulfato de calcio | N | N | O | O | | O | - | O | O | O | O | N | O | - | O |
| Magnesita | N | N | O | O | | N ^a | - | O | - | O | O | O | O | - | O |
| Masillas asfálticas | - | - | O | O | | - | N | O | - | - | - | - | - | - | - |
| Resina sintética | O | O | - | N ^a (uno de dos) | | O | - | O | - | O | O | - | O | N ^a | N |
| Leyenda N Normativa. O Opcional donde sea relevante. - no relevante. ^a sólo para pastas autonivelantes utilizadas en superficies de desgaste. | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 4.20. Ensayos aplicables a las pastas autonivelantes según la norma UNE-EN 13813:2003

4.4.1.- Ensayos en estado fresco

Las propiedades relativas al estado fresco se relacionan con la puesta en obra e influirán principalmente en el rendimiento y la calidad de la ejecución. Los requisitos derivados, por tanto, responden a las exigencias del constructor y operarios.

4.4.1.1.- Consistencia

La consistencia de un mortero fresco se determina según la norma UNE-EN 1015-3:2000/A2:2007 (AENOR), y está directamente relacionada con el escurrimiento o con la humedad del mortero fresco, proporciona una medida de la deformabilidad cuando se somete a cierta clase de esfuerzos.

El uso práctico de este valor es el de llevar al mortero fresco a un nivel de consistencia en el que su trabajabilidad se pueda medir y evaluar. El nivel definido de consistencia se puede considerar como una condición normalizada para preparar la muestra para ensayar las propiedades características del mortero fresco y endurecido, no siendo la consistencia una propiedad en si misma. Para su determinación se utilizará una mesa de sacudidas como la representada en la figura 4.21 Y 4.22.

La muestra debe tener como mínimo un volumen de 1,5 l, y se debe ensayar una vez mezclada. Se realizarán dos determinaciones de cada una. La mesa de sacudidas se compone de: (figura 4.21.)

- ✓ Un bastidor de acero o fundición
- ✓ Una placa rígida y un disco de material resistente a la corrosión, con un círculo centrado y grabado
- ✓ Un eje horizontal y una leva de elevación
- ✓ Un eje de elevación fijo

El molde troncocónico, será de acero inoxidable o latón. La superficie interior y los bordes deben estar pulidos y planos. El pisón será de sección circular, consistente en una barra rígida. La superficie de apisonado debe ser plana y perpendicular al eje del pisón.

Antes de comenzar cada ensayo, se limpia el disco de la mesa de sacudidas, así como la superficie interior y los bordes del molde, se deja secar y se lubrican ligeramente las superficies.

Se coloca el molde en el centro del disco de la mesa de sacudidas apoyado por su base mayor y se llena con el mortero en dos capas, cada capa se debe compactar por diez golpes de pisón. Durante el llenado se debe mantener el molde sujeto con la mano.

Se elimina el exceso de mortero con la regla para enrasar, se limpia y se seca la superficie libre del disco. Después de aproximadamente 30 s, se levanta lenta y verticalmente el molde e imprimiéndole 15 sacudidas a la mesa, con una frecuencia constante de una sacudida por segundo, el mortero se extiende sobre el disco.

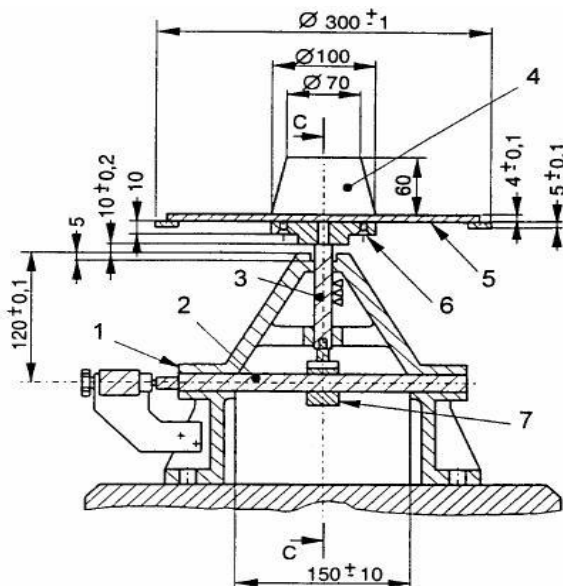


Figura 4.21. Mesa de sacudidas según norma UNE-EN 1015-3:2000/A2:2007

Figura 4.22. Mesa de sacudidas

Se mide el diámetro del mortero en dos direcciones perpendiculares entre sí, se anotan los resultados en mm, y se haya su media aritmética. En función de esta medida se distinguen tres tipos de consistencia:

| Consistencia | Escurrimiento (mm) | Designación |
|------------------|--------------------|-------------|
| Mortero seco | < 140 | S |
| Mortero plástico | 140 a 200 | P |
| Mortero fluido | >200 | F |

Tabla 4.23. Clasificación en función del escurrimiento según norma UNE-EN 1015-6:1999+A1:2007

En la figura 4.24. se puede observar el proceso descrito anteriormente.

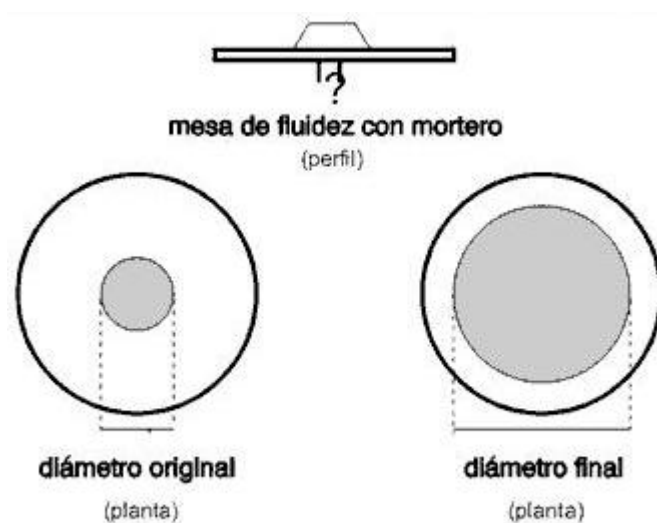


Figura 4.24. Método de la mesa de sacudidas

4.4.1.2.- Periodo de trabajabilidad

El periodo de trabajabilidad de una muestra de mortero fresco se determina midiendo el tiempo en minutos, a partir del cual alcanza un límite definido de rigidez. Y se ha tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN 1015-9:2000/A1:2007 (AENOR) para morteros de albañilería de uso corriente. En las figuras 4.25. y 4.26. se muestra el aparato a utilizar.

La muestra de mortero fresco utilizada para este ensayo debe tener un volumen mínimo de 1,5 l o, al menos 1,5 veces la cantidad necesaria para el ensayo. Se deben ensayar dos muestras en este ensayo.

Los moldes o recipientes se llenan con el mortero para ensayo, con el fin de obtener una zona adecuada de la superficie para el número requerido de penetraciones de la sonda. Cada molde se llena en 10 etapas, retirando el excedente de mortero para nivelar, y se golpea cuatro veces sobre la mesa de trabajo. La superficie se enrasa con la regla de tal modo que quede nivelada con la parte superior del molde.

Los moldes llenos, se conservan, en un ambiente a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y a una humedad relativa de al menos 95%.

Un molde se coloca sobre la balanza, debajo de la sonda de penetración, de tal modo que la zona de la superficie de la muestra situada inmediatamente debajo de la sonda.

La sonda debe estar compuesta por una varilla redonda de latón con una arandela

en la parte inferior a unos 25 mm, la cara de penetración es plana y perpendicular al eje de la sonda.

La tara se regula o la masa del molde lleno se registra. Con ayuda de la palanca de la taladradora, la sonda de penetración se baja lentamente en la muestra, hasta que la arandela roce la superficie.

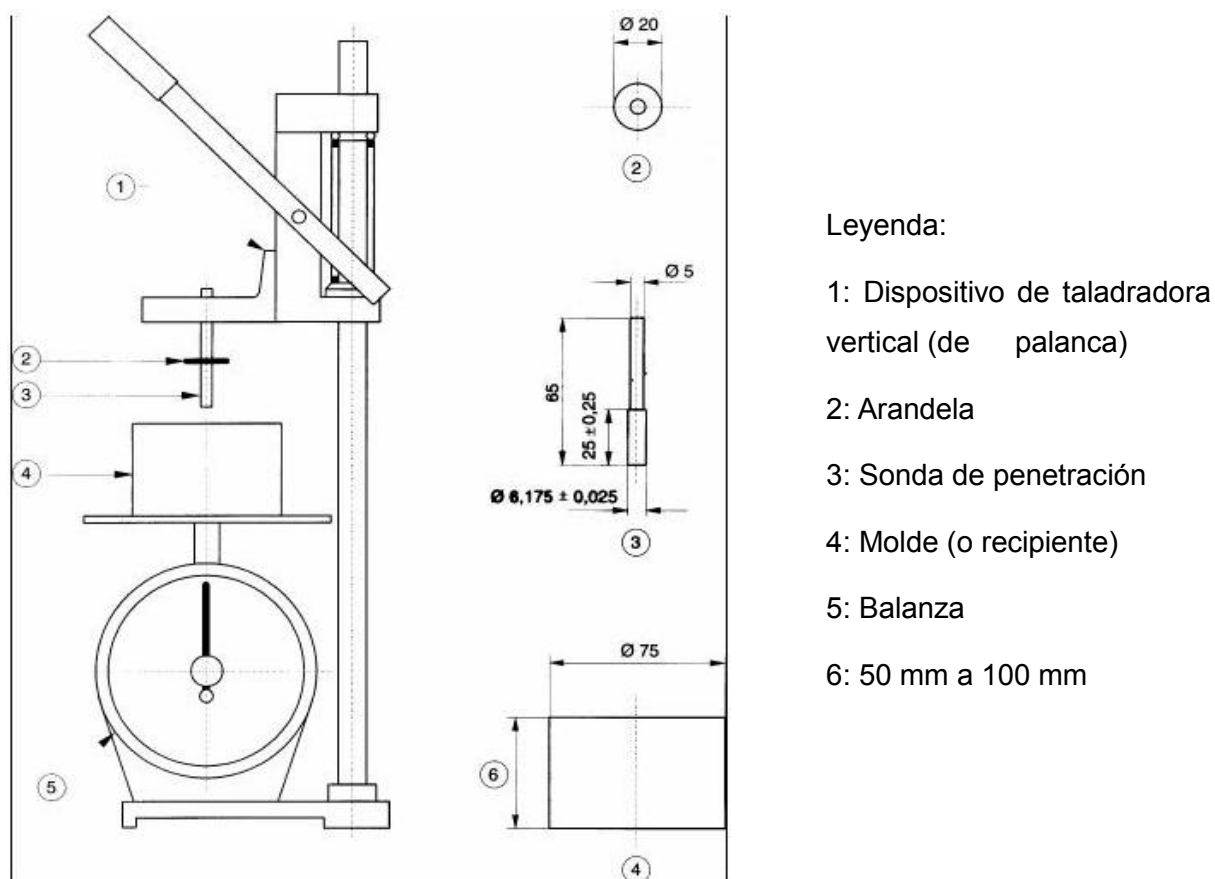


Figura 4.25. Aparato para la determinación del periodo de trabajabilidad según norma UNE-EN 1015-9:2000/A1:2007



Figura 4.26. Aparato para la determinación del periodo de trabajabilidad

El valor indicado por la balanza, en kilogramos, se anota. Para los morteros retardados, la penetración se verifica de modo intermitente, en los momentos apropiados, hasta que la resistencia comience a aumentar, a continuación, se determina cada 15 minutos.

El periodo de trabajabilidad se determina a partir del momento en el que la adición de agua a los componentes secos o la adición del cemento haya terminado. El tiempo en minutos, redondeado al minuto más próximo, requerido para alcanzar una resistencia a la penetración de $0,5 \text{ N/mm}^2$, se determina por interpolación de los resultados obtenidos, inmediatamente, por encima y por debajo de este valor, y este es el periodo de trabajabilidad del mortero.

4.4.1.3.- Aire ocluido

Para determinar la influencia de los aditivos utilizados en la fabricación de los morteros a base de cemento, debemos comprobar el contenido en aire del mortero fresco. Su método de ensayo se describe en la norma UNE-EN 83259:2005 (AENOR), y se utiliza en morteros cuyo contenido en aire declarado sea igual o menos al 20%.

Para ello, se utiliza un recipiente que comprende un cilindro metálico con una capacidad de aproximadamente 1 l, provisto con una tapa metálica con una cámara a presión y un manómetro como el que aparece en la figura 4.27. y figura 4.28.

Para realizar el ensayo, primeramente se llena el recipiente con mortero, en cuatro capas iguales, se compacta cada una con 10 golpes cortos del pisón. Una vez lleno, se elimina el exceso de mortero de manera que la superficie quede plana y nivelada con el borde superior del recipiente.

Se limpia el exterior del recipiente y se seca. Seguidamente se fija la tapa y se cierra la válvula principal de aireación. Llenar el espacio de aire que se encuentra debajo de la cubierta y encima del mortero, con agua inyectada por la válvula izquierda, manteniendo la válvula derecha abierta hasta que todo el aire que se encuentra encima de la superficie del mortero se haya eliminado.

Se inyecta aire en la cámara hasta que se haya alcanzado una presión estable. Se cierran las válvulas y se abre la válvula situada arriba. Una vez alcanzado el equilibrio, se lee el porcentaje del contenido en aire en el manómetro calibrado y se anota este valor con una exactitud de aproximadamente 0,1%.



Figura 4.27. Aparato de ensayo del aire ocluido

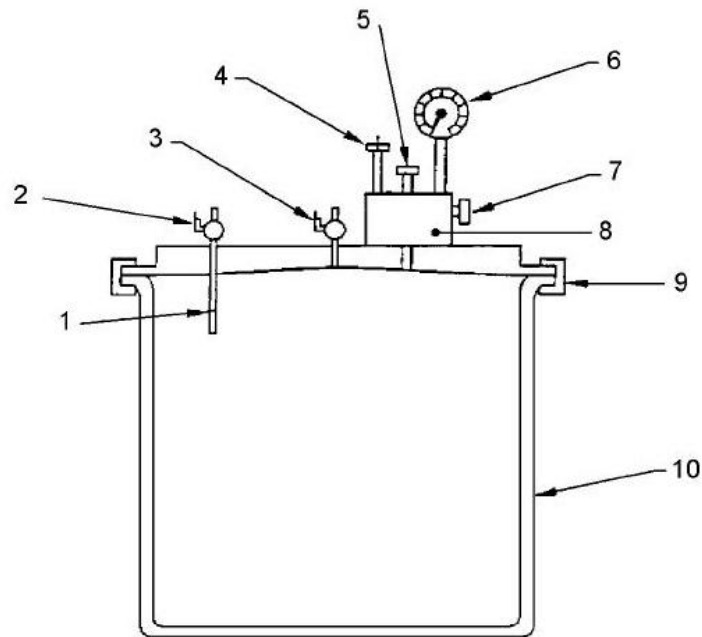


Figura 4.28. Esquema del aparato de ensayo mostrando el recipiente metálico para la muestra y el conjunto de la tapa, según Norma UNE-EN 83259:2005

4.4.2.- Ensayos en estado endurecido

Las propiedades en estado endurecido son estipuladas por las prescripciones de proyecto y por el cumplimiento de las exigencias normativas. Por consiguiente, estas propiedades competen fundamentalmente a la figura del arquitecto.

4.4.2.1.- Resistencias mecánicas

Para evaluar el comportamiento de las probetas frente a esfuerzos mecánicos, se han realizado los ensayos de flexotracción y compresión, siguiendo las recomendaciones especificadas en la norma UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007 (AENOR) para probetas enmoldadas de mortero.

La muestra de mortero fresco utilizada para estos ensayos debe tener un volumen mínimo de 1,5 l, o al menos, 1,5 veces la cantidad necesaria para el ensayo. Las probetas deben ser prismas de 160 mm x 40 mm x 40 mm. Se deben preparar tres probetas para ensayar a los 28 días, o más si se han incorporado al mortero retardadores de fraguado, y se ensayarán inmediatamente después de haberlas retirado de su medio de conservación.

Las condiciones de conservación de las probetas se detallan en la tabla 4.29.:

| Tipo de mortero | Preparación | Duración de la conservación a una temperatura de 20 °C ± 2 °C, en días | | |
|--|-------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | Humedad relativa | | |
| | | 95% ± 5% o en una bolsa de polietileno | | 65% ± 5% |
| | | En el molde | Una vez que se ha retirado el molde | Una vez que se ha retirado el molde |
| Morteros de cal aérea | 7.2.3 | 5 | 2 | 21 |
| Morteros de cal aérea/cemento en los que la masa de cemento no es superior al 50% de la masa total de conglomerante | 7.2.3 | 5 | 2 | 21 |
| Morteros de cemento y de cal aérea/cemento en los que la masa de cal aérea no es superior al 50% de la masa total de conglomerante | 7.2.2 | 2 | 5 | 21 |
| Morteros con otros conglomerantes hidráulicos | 7.2.2 | 2 | 5 | 21 |
| Morteros retardados | 7.2.2 | 5 | 2 | 21 |

Tabla 4.29. Preparación y condiciones de conservación de las probetas según Norma UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007

4.4.2.1.1.- Resistencia a flexión:

La máquina debe estar provista de dos rodillos de apoyo en acero espaciados entre sí 100,0 mm ± 0,5 mm, y de un tercer rodillo de carga instalado centralmente entre los rodillos de apoyo. Los tres planos verticales que pasan por los ejes de los tres rodillos deben ser paralelos y permanecer paralelos durante el ensayo, además deben estar equidistantes y perpendiculares a la dirección de la probeta. Uno de los rodillos de apoyo y el rodillo de carga deben poder oscilar ligeramente para permitir una distribución uniforme de la carga sobre el total del ancho del prisma sin someterlo a un esfuerzo de torsión.

Las superficies de contacto de los rodillos y las caras de la probeta se limpian. Una de las caras de la probeta, que ha estado en contacto con las paredes del molde durante el enmoldado, se coloca sobre los rodillos de apoyo como en la figura 4.30.

La carga se aplica sin aceleraciones bruscas, a una velocidad uniforme comprendida entre 10 N/s y 50 N/s, de tal modo que la rotura se produzca entre 30 s y 90 s. Se registra la

resistencia a flexión de cada probeta, la edad de las mismas y el momento del desmoldeo.



Figura 4.30. Máquina del ensayo de flexotracción

4.4.2.1.2.- Resistencia a compresión:

Las probetas se ensayarán inmediatamente después del ensayo de resistencia a flexotracción. La superficie de carga de la máquina de ensayo así como los platos de apoyo y el adaptador de ensayo se limpian y se instala la probeta en la máquina de tal modo que la carga se aplique en una de sus caras (la que ha estado en contacto con las paredes del molde durante el enmoldado).

La probeta se alinea, cuidadosamente de tal modo que la carga se aplique en todo el ancho de las caras en contacto con los platos. El plato superior de la máquina debe poder alinearse libremente desde que entre en contacto con la probeta, pero los platos no deben poder inclinarse uno frente al otro durante la aplicación de la carga, figura 4.31.

La carga se aplica sin aceleraciones y se aumenta progresivamente a un ritmo comprendido entre 50 N/s y 500 N/s de tal modo que la rotura se produzca entre 30 s y 90 s. La carga máxima aplicada, en N, durante el ensayo se registra, así como la edad de las probetas y la edad en el momento de desmoldarlas.



Figura 4.31. Máquina del ensayo de compresión

4.4.2.2.-Resistencia térmica

Las propiedades de la transferencia de calor en un estado estable pueden ser medidas por diferentes métodos de ensayos normalizados: la elección del método depende de las características de la muestra. En nuestro caso utilizaremos el método denominado como placa caliente guardada.

La norma UNE-EN 12664:2002 (AENOR) especifica los principios y procedimientos de ensayo para la determinación de la resistencia térmica de productos con baja o media resistencia.

El equipo está destinado a establecer, en el interior de muestras homogéneas, el flujo de calor, figura 4.32. En el equipo de la placa caliente guardada con dos muestras la relación del flujo de calor se obtiene a partir de la medición de la potencia suministrada por la unidad calefactora a la sección media. El equipo consiste en una placa plana central cuadrada con superficie de metal (unidad calefactora) que se instala en posición tipo sandwich entre dos muestras idénticas en espesor y uniformidad, como se muestra en la figura 4.33. La relación de flujo de calor es transferida a través de las muestras para separar las uniones planas, isotérmicas cuadradas (unidades enfriadoras).



Figura 4.32. Equipo para el ensayo de resistencia térmica

La unidad calefactora consta de una sección central de medición, donde se puede establecer un flujo de calor constantemente unidireccional y con uniformidad de densidad de flujo. El área de medición es la que se encuentra situada centralmente en la muestra.

Se requerirán límites adicionales de aislamiento cuando se opere con temperaturas por encima o por debajo de la del habitáculo en que se realizan los trabajos.

Las unidades de enfriamiento consistirán en láminas de metal, y tendrán unas dimensiones por lo menos, tan grandes como los de la unidad calefactora. Se mantendrán a una temperatura constante y uniforme.

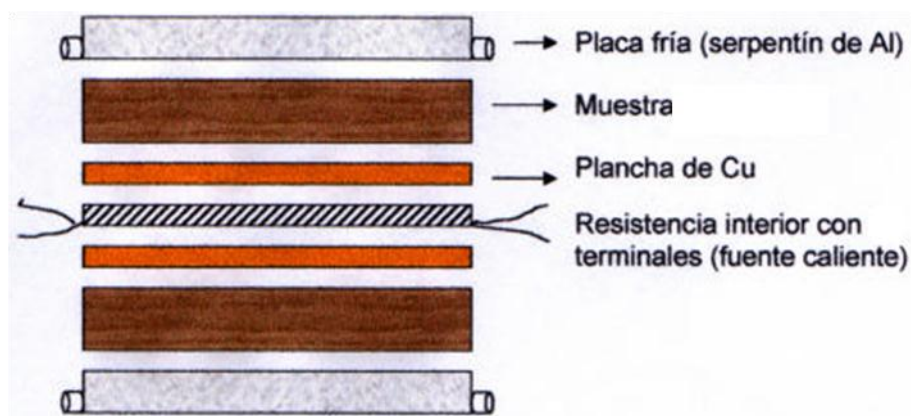


Figura 4.33. Esquema del equipo para el Ensayo resistencia térmica

Las muestras deben cubrir completamente las superficies de la unidad calefactora sin excederla. Deben contener inicialmente una cantidad grande de agua como consecuencia de la fabricación y preparación. Se deberán preparar al menos 28 días antes de su ensayo. Las superficies deben ser lo más lisas posibles.

Se seca la muestra en horno a unos 105°C hasta masa constante. Después del secado, la muestra debe ser encerrada en un envoltorio que la mantenga aislada del vapor.

Se ajustarán las unidades enfriadoras o calentadoras de las superficies frías de tal manera que las diferencias de temperatura a través de las dos muestras no difieran más de un 2%.

CAPÍTULO 5.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En este capítulo se detalla el método seguido para la realización del proyecto, así como el procedimiento de fabricación de los morteros, método de realización de las probetas y los ensayos realizados.

Una vez establecido el plan experimental se detalla a continuación la metodología seguida para cumplir las exigencias de nuestro proyecto.

Para el estudio de la dosificación que nos permita obtener un mortero con las especificaciones definidas en el plan se han llevado a cabo unos ensayos previos divididos en dos partes.

En la primera, se han realizado 10 amasadas de 1 litro. Partimos de una dosificación indicada por una casa comercial que realiza este tipo de morteros, de relación agua/cemento 0,68, cantidad de aditivo superfluidificante de 1,5 % y relación árido fino/árido grueso de 0,373. Se comprobó que con las características de nuestras arenas y tipo de cemento, dicha dosificación tenía una consistencia plástica (escurrimiento entre 140 y 200 mm). Mediante la observación visual se detectó que la pasta de mortero tenía demasiados gruesos, por lo que se consideró invertir las cantidades de los áridos (relación árido fino/árido grueso de 2,68).

Al hacer el ensayo la consistencia del mortero disminuyó, así que como solución se aumentó la cantidad de aditivo en un 0,2 %. Al continuar siendo la consistencia plástica se tomó la decisión de incrementar la relación agua/cemento un 0,1. Esta solución no resultó lo suficientemente fluida por lo que aumentamos un 0,3 % el aditivo superfluidificante.

Llegado este punto en que casi habíamos conseguido un mortero de consistencia fluida, consideramos que una cantidad del 2 % de aditivo superfluidificante nos resultaba demasiado elevada, por lo que planteamos reducir un 0,2 % el aditivo y aumentar un 0,1 la relación agua/cemento.

Esta dosificación resultó válida, ya que su escurrimiento fue > 200 mm (consistencia fluida). En morteros la relación agua/cemento es elevada, y en autonivelantes en concreto aún más. La solución con una relación de 0,88 nos pareció un poco excesiva por lo que seguimos trabajando en ella para comprobar si se podía reducir.

Para ello se bajó la relación agua/cemento un 0,1 y se comprobó que, de nuevo, la consistencia bajaba a plástica. Analizando los datos obtenidos con las diferentes dosificaciones propuestas, se llegó a la conclusión de escoger una relación agua/cemento de 0,88 y una cantidad de aditivo superfluidificante del 1,8 %.

Se comprobó que con esta dosificación conseguimos una consistencia fluida con un escurrimiento > 200 mm, por lo que se consideró buena.

Para comprobar otras características, a la dosificación adoptada se le añadieron un aditivo retardador de fraguado, un controlador de fisuración y fibras multifilamente. Se realizaron dos amasadas, una con las proporciones de aditivos mínimas y otra con las máximas establecidas por el fabricante, e hicimos una probeta de cada una de base 160 mm x 160 mm y altura 20 mm.

Pasadas 48 horas, observamos que la probeta que contenía las máximas proporciones de aditivos había exudado. Esto podía ser debido a la alta relación agua/cemento o a la cantidad de retardador de fraguado, por lo que la descartamos.

En la probeta que contenía las mínimas proporciones de aditivos se habían quedado los finos en la parte superior y al pasar la mano había un polvillo blanco. Esto era debido a la cantidad de finos de las arenas, por los que probamos invirtiendo las cantidades de las mismas (relación árido fino/árido grueso de 0,369).

Con esta nueva dosificación se realizó otra probeta de las mismas dimensiones y se comprobó que esta vez no exudaba, no se quedaban los finos en la parte superior de la probeta y no se habían producido fisuras por retracción. Así que consideramos esta como la

mejor opción, como dosificación base para el resto de los ensayos.

La segunda parte de los ensayos previos se realizó debido al cambio de la granulometría de la arena 0/4 suministrada y su contenido de finos. Para ello se realizaron 5 amasadas de 1 litro con una relación agua/cemento de 0,78 y variamos el aditivo superplastificante: 1,2 % - 1,3 % - 1,4 % - 1,5 %. De sus ensayos obtuvimos que la dosificación de aditivo superfluidificante más acertada para morteros autonivelantes era de un 1,5 %.

Para comprobar que el aditivo inclusor de aire no influya en el escurrimiento se realizó la misma dosificación con un 0,1 % de este aditivo. Como conclusión obtuvimos que dicho aditivo no influye sensiblemente en el escurrimiento del mortero.

En la figura 5.1. y 5.2. se muestra un esquema de las dosificaciones de prueba realizadas.

Finalmente se escogió como dosificación base aquella con una relación agua/cemento de 0,78, una proporción de aditivo superfluidificante del 1,5 % del peso del cemento y una relación árido fino/árido grueso de 0,369. En el apartado 6.1. se muestran los resultados de todas las amasadas de prueba realizadas.

A continuación se estudiaron los 6 casos propuestos. Para ello se realizaron:

- 6 amasadas de 1 litro, una de cada caso sin fibras, a las que se ensayaron el escurrimiento y se realizaron 3 probetas de cada amasada para el ensayo de las resistencias mecánicas
- 6 amasadas de 1 litro, una de cada caso con fibras, a las que se ensayaron el escurrimiento y se realizaron 3 probetas de cada amasada para el ensayo de las resistencias mecánicas
- 6 amasadas de 1 litro, una de cada caso con fibras, a las que se ensayaron el escurrimiento y el periodo de trabajabilidad
- 5 amasadas de 1 litro para comparar el aire ocluido según aditivos utilizados
- 6 amasadas de 2 litros, una de cada caso con fibras, de las que se realizaron 2 probetas de cada amasada a las que se ensayó la resistencia térmica

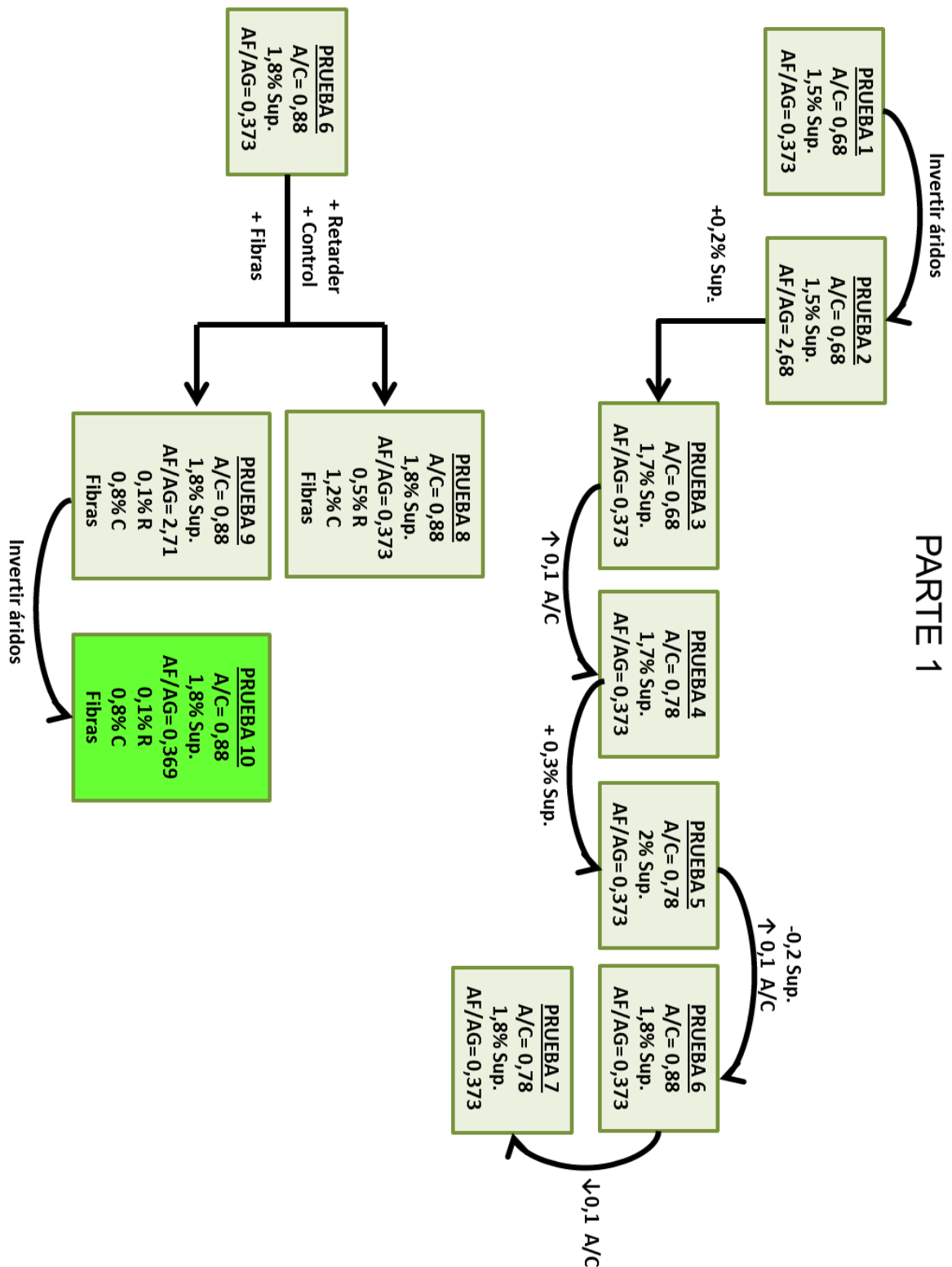


Figura 5.1. Esquema de las dosificaciones de prueba Parte 1

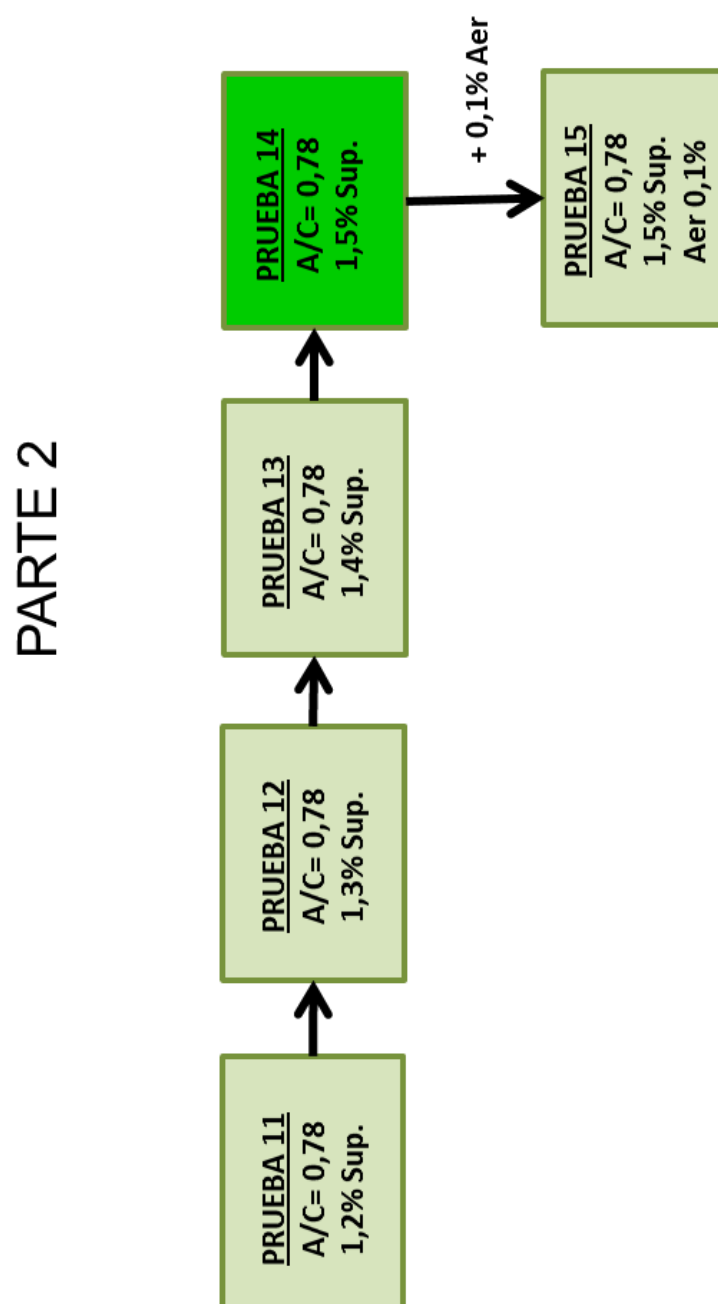


Figura 5.2. Esquema de las dosificaciones de prueba Parte 2

5.1.- Proceso de fabricación

Definidos los componentes del mortero en el apartado 4.2., se describen a continuación las fases que se han seguido para su realización.

Los parámetros temperatura y humedad relativa son muy importantes, porque en función de ellos la viscosidad del compuesto varía y, por lo tanto, la eficacia en la mezcla con el árido. Temperaturas de trabajo superiores a 22°C aumentan el tiempo de fraguado y el endurecimiento de los morteros e inferiores a 12°C, lo retardan.

El amasado es una parte determinante en lo referente a las propiedades finales que presentan un mortero, una vez ha endurecido. Por ello es preciso que en todas las amasadas se proceda de igual modo, tanto en lo que se refiere a la velocidad de agitación, como al orden en que se mezclan los distintos componentes.

Antes del proceso de amasado, se obtienen las humedades de las arenas, según el proceso descrito en el anejo de estudio de los componentes. A continuación se tamizan para garantizar que no hubiera áridos de tamaño superior a 4 mm. Y se pesan todos los materiales: cemento, arenas, aditivos, fibras multifilamento y agua.

Inicialmente el amasado se realizó según el procedimiento que se especifica para morteros en la norma UNE-EN 83258:2005 (AENOR). Tras los ensayos previos, se introdujeron pequeñas modificaciones ya que se comprobó que el tiempo de amasado influía en la trabajabilidad de los morteros. Las fases que se han seguido para el amasado son las siguientes:

1. Se introduce la totalidad de las arenas y del cemento en el recipiente de la amasadora y se mezclan durante 30 s a velocidad lenta.
2. Se continúa la mezcla y se añade la mitad del agua de amasado durante los 30 s siguientes. En la figura 5.3. se puede ver la pasta de mortero en estado fresco.
3. A continuación, si lleva fibra multifilamento de polipropileno se añaden durante los 30 s siguientes para conseguir una distribución uniforme; si no lleva, simplemente se amasan 30 s más.
4. Se continúa amasando 30 s añadiendo la otra mitad del agua de amasado junto con los aditivos.
5. Amasado durante 2 min a velocidad lenta.
6. Se detiene la amasadora durante 1 min y se eliminan los materiales mezclados que se encuentran en el borde y en el fondo del recipiente de la amasadora y que se

han dispersado durante las diferentes amasadas.

5. Poner en marcha la amasadora a velocidad rápida y continuar el amasado durante 3 min.

El tiempo correspondiente al proceso total de amasado debe ser de 8 min. Nada más finalizar el amasado se realiza el ensayo de consistencia mediante la mesa de sacudidas, el procedimiento seguido se detalla en el apartado 5.2.1.

A continuación se procede al enmoldado de las probetas. Según el ensayo a realizar se fabricaron:

- ✓ 36 probetas prismáticas de sección transversal 40 mm x 40 mm y longitud 160 mm para la realización de los ensayos a flexión y compresión. El molde utilizado es el indicado en la figura 5.2.
- ✓ 12 probetas prismáticas de base 160 mm x 160 mm y altura 40 mm (retirando los separadores intermedios) como se puede observar en la figura 5.5., para la realización del ensayo de resistencia térmica.



Figura 5.3. Pasta de mortero en estado fresco



Figura 5.4. Molde de 40 x 40 x 160 mm

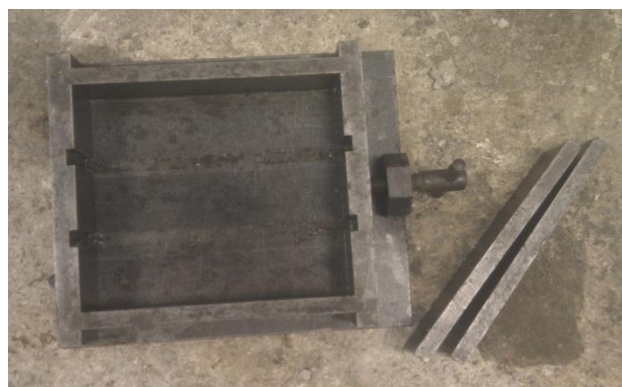


Figura 5.5. Molde de 160 x 160 x 40 mm

Los moldes han de prepararse antes de comenzar la fabricación del mortero. Deben estar limpios y listos para su uso, y se debe evitar que se produzcan distorsiones en su montaje y asegurar la estanqueidad del mortero al verterlo. Se debe aplicar una capa fina de aceite para el desmoldado en todas las caras internas como se aprecia en la figura 5.6.

Para su llenado se extiende una capa uniforme y al final del proceso se retira el exceso de mortero con una regla plana, con lentos movimientos transversales de sierra, una vez en cada dirección. A continuación retiramos el mortero sobrante en el perímetro del molde. En la figura 5.7. podemos observar el molde lleno, enrasado y limpio.

Al ser un mortero autonivelante, no necesita vibrado, pero para un llenado homogéneo de los moldes se golpeará la base con martillo de goma. Seguidamente se procedió al etiquetado de las probetas para su identificación como se indica en la figura 5.8.



Figura 5.6. Aplicación de aceite en molde



Figura,5.7. Molde lleno, enrasado y limpio



Figura 5.8. Molde lleno y etiquetado

Las probetas se conservaron en el molde y se colocaron en la cámara húmeda según la figura 5.9. durante el tiempo necesario hasta que se pudo realizar el desmoldado. La cámara húmeda se mantiene a una temperatura de $20,0 \pm 1,0$ °C y una humedad relativa del 90 % (figura 5.10.).

Al utilizar un retardador de fraguado, se comprobó que a las 24 horas no se podían desmoldar las probetas y en ocasiones debimos esperar hasta las 48 horas. El desmoldado se realizó sin con ayuda de martillos de plástico o de goma y sin dañarlas, una vez realizado se marcarán adecuadamente para su posterior identificación como se muestra en la figura 5.11.



Figura 5.9. Moldes en cámara húmeda



Figura 5.10. Cámara húmeda

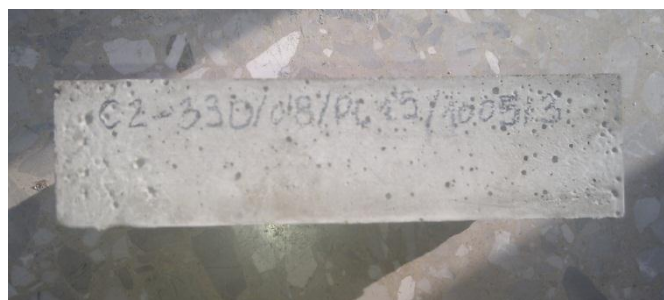


Figura 5.11. Marcado probetas (identificación)

Debido a la escasa cantidad de moldes disponibles en el laboratorio, las probetas realizadas para los ensayos de resistencias mecánicas se desmoldaron a las 48 horas, aunque según la norma UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007 (AENOR) deben mantenerse en los

moldes y en cámara húmeda durante 5 días. Para cumplir aproximadamente con las condiciones de dicha norma indicadas en la tabla 4.29. del apartado 4.4.2.1., al desmoldarlas se introdujeron en un cubo con agua y en la cámara húmeda durante 5 días más como se muestra en la figura 5.12.

De cada dosificación adoptada se confeccionaron tres probetas prismáticas para los ensayos de resistencias mecánicas. Una probeta se ensayó a 7 días y las otras dos se colocaron de nuevo en la cámara protegidas con una bolsa de polietileno para que no les llegara el regado que se produce en la cámara húmeda, como se indica en la figura 5.13., durante 21 días más. Transcurrido este tiempo se realizaron los ensayos de flexión y compresión a 28 días.

Además, de cada dosificación adoptada se confeccionaron dos probetas para el ensayo de resistencia térmica. Estas probetas se desmoldaron a las 48 horas, y se mantuvieron en cámara húmeda hasta pasados los 28 días como muestra la figura 5.14. Posteriormente se sacaron e introdujeron en el horno para su secado hasta masa contante, indicado en la figura 5.15., y se realizó el ensayo.



Figura 5.12. Probetas introducidas en agua en cámara húmeda



Figura 5.13. Protección de probetas con bolsa de polietileno en cámara húmeda



Figura 5.14. Probetas en cámara húmeda



Figura 5.15. Probetas en horno

5.1.1.- Amasadora

Se ha utilizado una amasadora de la marca IBER-TEST para morteros mostrada en la figura 5.16. Está compuesta por un bastidor fabricado en acero de fundición y acabado en pintura epoxi con protección anticorrosión.

Consta de una paleta de acero inoxidable como la de la figura 5.17, además de un cazo del mismo material de 4,7 l de capacidad, indicado en la figura 5.18. La distancia entre el cazo y la paleta es de $3 \pm 1,0$ mm. El soporte del cazo se eleva por medio de una palanca lateral, con enclavamiento a la altura correcta de operación y dispone además, de un sistema de fijación rápida del cazo en su posición de trabajo girando un cuarto de vuelta como se puede observar en la figura 5.19.

Dispone de un motor eléctrico que asegura las velocidades de amasado. Tiene tres posiciones de velocidades: apagado, lento y rápido. Para cada una de ellas dos velocidades, una de giro de la paleta y otra de desplazamiento planetario.



Figura 5.16. Amasadora



Figura 5.17. Paleta



Figura 5.18. Cazo



Figura 5.19. Cazo fijado a la amasadora

5.1.2.- Moldes

Los moldes han de estar limpios y sanos. Así mismo, se debe evitar que se produzcan distorsiones y asegurar la estanqueidad del mortero.

El molde como el representado en la figura 5.4 y 5.5. deben ser de acero y dispone de tres compartimentos horizontales, distinguidos por separadores intermedios. Todas las piezas están marcadas con un número de identificación para un montaje correcto. Está construido de tal manera que su montaje y desmontaje se puede realizar de manera fácil, rápida y no dañar las probetas.

Consta de una base lisa de acero de dimensiones 225 mm x 190 mm y espesor 10 mm, cuatro separadores de 70 mm x 40 mm y espesor 10 mm, y dos placas con rebajes para la colocación de los separadores de 80 mm x 40 mm y espesor 15 mm. Las dos placas se fijan y aprisionan a los separadores sobre la base mediante un tornillo.

5.2.- Ensayos en estado fresco

5.2.1.- Ecurrimiento

Para determinar la escurrimiento de nuestros morteros se utilizó una mesa de sacudidas y se realizó inmediatamente después de cada amasado. Antes del ensayo, se agitó la masa suavemente con una paleta, durante 10 s para evitar cualquier falso fraguado.

La mesa de sacudidas consiste en un plato liso de superficie plana y material resistente a la corrosión, unida a una base rígida, mostrada en la figura 5.20. El diámetro del plato es de 300 mm y su espesor 4 mm.

Se coloca la mesa de sacudidas sobre una superficie plana y horizontal, libre de vibraciones o sacudidas externas. Antes de comenzar cada ensayo, se limpian la mesa y el molde y se humedecen inmediatamente antes del ensayo evitando la humedad excesiva.

La mesa dispone de una marca grabada y centrada de 0,5 mm de profundidad y de igual diámetro que el mayor del molde troncocónico, como se observa en la figura 5.21., para asegurar su correcto posicionamiento. El molde de la figura 5.22. debe tener la superficie interior pulida y sus dimensiones son de 100 mm el diámetro interior de la base y 70 mm el superior, su altura es de 60 mm.

Para realizar el ensayo se colocó el molde centrado sobre la mesa y se llenó con mortero como se muestra en la figura 5.23. Se enrasa con el borde superior del molde como en la figura 5.22. y se limpia la zona libre de la mesa.

Según la norma UNE-EN 1015-3:2000/A2:2007 (AENOR), al retirar el molde se deben imprimir unas sacudidas, en nuestro caso al ser morteros autonivelantes que no van a necesitar de un vibrado posterior, no se sacudirá la mesa. Por lo que después de 30 s se elevó despacio el molde verticalmente y el mortero se extendió sobre el disco. Se mide con el metro la dimensión máxima del mortero esparcido en dos direcciones perpendiculares entre sí como en la figura 5.25., se anotaron los resultados en mm y se calculó la media aritmética de los diámetros.



Figura 5.20. Mesa de sacudidas

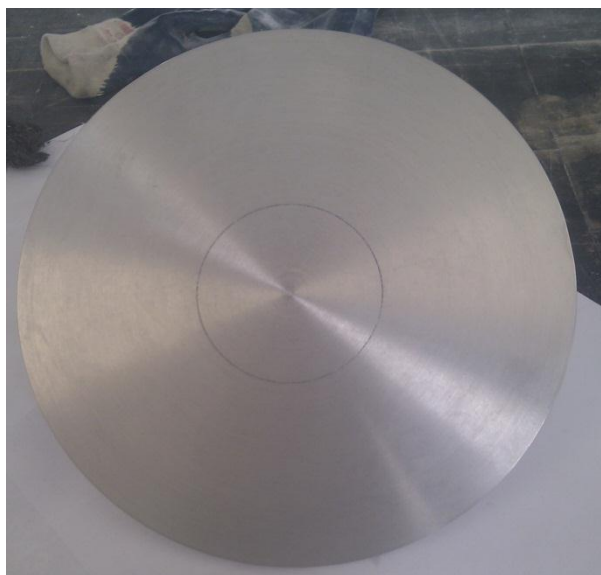


Figura 5.21. Plato mesa de sacudidas



Figura 5.22. Molde troncocónico



Figura 5.23. Llenado del molde



Figura 5.24. Limpiar plato después de verter el mortero



Figura 5.25. Medida del diámetro

5.2.2.- Periodo de trabajabilidad

Para llevar a cabo el ensayo, no se disponía en el laboratorio de Materiales de la Escuela del aparato descrito en la norma UNE-EN 1015-9:2000/A1:2007, por lo que debimos realizar uno parecido con los recursos que disponíamos.

Se utilizó una taladradora como base del aparato y sobre ella se colocó una báscula como se observa en la figura 5.26. Como sonda se cogió una varilla, de 6 mm de diámetro, a la que se le pegó una arandela a 25 mm de distancia del borde inferior, y se pulió dicho borde para que quedara plano y perpendicular al eje de la sonda como en la figura 5.27. La sonda se acopló a la taladradora de manera que quedara a unos 20 mm del borde del molde, al colocarlo sobre la báscula según la figura 5.28.

Los moldes utilizados fueron los disponibles en el laboratorio de la figura 5.29., de diámetro interior inferior de 90 mm, superior de 80 mm y altura 40 mm. Al tener las dos caras abiertas, como base se colocó un cristal para evitar que la muestra se saliera. Se llenaron con mortero y se enrasó con la parte superior del molde. A continuación se golpeó ligeramente el cristal para conseguir un relleno completo del molde y se etiquetaron para su identificación.

Los moldes llenos se conservan tapándolos con otro cristal como en la figura 5.30. para conseguir las condiciones que contempla la norma, una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y a una humedad relativa de al menos 95%.

Se colocó el molde sobre la balanza, debajo de la sonda de penetración, de tal modo que la zona de la superficie de la muestra se sitúa inmediatamente debajo de la sonda como en la figura 5.31. Se tara la báscula y con ayuda de la palanca de la taladradora, la sonda de penetración se baja lentamente hacia la muestra, hasta que la arandela roce la superficie. En la figura 5.32. se observa como penetra la sonda.

El valor indicado por la balanza, en gramos, se anotó. Se realizó el mismo proceso de manera intermitente, hasta que se alcanzó una resistencia a la penetración de 0,5 N/mm² (1414 g ya que la superficie de contacto de la sonda de penetración es de 28,27 mm²).

El periodo de trabajabilidad se determina a partir del momento en el que la adición de agua y todos los aditivos haya terminado. El tiempo en minutos requerido para alcanzar la resistencia a la penetración de 0,5 N/mm², se determinó por interpolación de los resultados. El valor obtenido, redondeado al minuto más próximo, es el periodo de trabajabilidad del mortero.



Figura 5.26. Taladradora y báscula



Figura 5.27. Sonda: varilla con arandela



Figura 5.28. Máquina montada



Figura 5.29. Molde

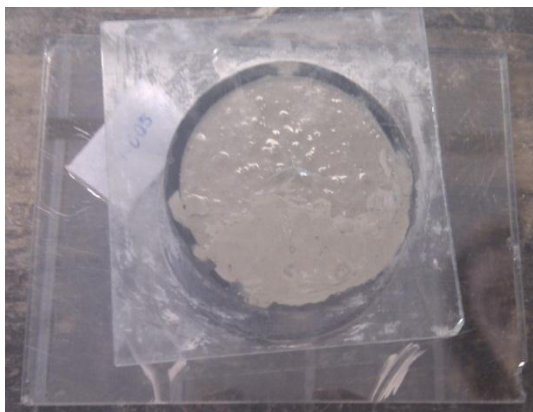


Figura 5.30. Molde lleno y tapado



Figura 5.31. Colocación del molde



Figura 5.32. Introducción de la sonda en la muestra

5.2.3.- Aire ocluido

Para determinar el contenido de aire en el mortero fresco se ha utilizado un medidor de aire ocluido de la marca TESTING. Está compuesto por un recipiente que comprende un cilindro metálico con una capacidad aproximada de 1 l, provisto con una tapa metálica con una cámara a presión y un manómetro como se puede observar en la figura 5.33.

Para realizar el ensayo, primeramente se retiró la tapa y se llenó el recipiente con mortero según la figura 5.34. Seguidamente se eliminó el exceso con la paleta hasta que la superficie quedó plana y nivelada con el borde superior.

Se limpió bien el borde del recipiente y se fijó la tapa firmemente mediante las abrazaderas como en la figura 5.35. Se abrieron las dos válvulas de cierre, están abiertas cuando sus palancas apuntan hacia arriba. A continuación, con un frasco se introdujo agua en la válvula de la izquierda como en la figura 5.36. hasta que salió por la de la derecha. En ese momento se cerraron ambas válvulas. En la figura 5.37. se puede apreciar que las palancas apuntan hacia abajo.

Seguidamente con la bomba de mano se lleva el puntero hasta la línea roja del manómetro, que indica la presión inicial como en la figura 5.38. Si nos pasamos se corrige presionando suavemente el botón negro “correction”, hasta que se detenga el puntero. Golpeamos suavemente el dial del manómetro hasta que se paró el puntero.

Presionamos el botón verde “test” y golpeamos suavemente de nuevo el manómetro hasta que el puntero se pare. Se lee el contenido de aire del mortero en el manómetro en

tanto por ciento, con una aproximación del 0,1 % como se puede observar en la figura 5.39.

Una vez terminamos la prueba se abren lentamente las dos válvulas de cierre, esto permite que el aire restante escape, y se sueltan las abrazaderas de la tapa.



Figura 5.33. Medidor de aire ocluido



Figura 5.34. Llenado del recipiente



Figura 5.35. Fijación con abrazaderas



Figura 5.36. Introducción de agua



Figura 5.37. Válvulas cerradas



Figura 5.38. Presión inicial



Figura 5.39. Lectura contenido de aire

5.3.- Ensayos en estado endurecido

5.3.1.-Resistencias mecánicas

Los ensayos de caracterización mecánica de los morteros se efectuaron a las edades de 7 y 28 días desde la fecha de confección del mortero.

5.3.1.1.-Ensayo de resistencia a flexotracción:

Este ensayo se realizó con tres probetas de cada tipo extraídas de la cámara húmeda. Se colocaron en la máquina de ensayos provista de dos rodillos de apoyo espaciados entre sí 100 mm y de un tercer rodillo de carga instalado centralmente entre los rodillos de apoyo.

Las superficies de contacto de los rodillos y las caras de la probeta se limpiaron con un paño y se colocó la probeta de manera que una de las caras (que ha estado en contacto con las paredes del molde) se coloque sobre los rodillos de apoyo como se puede apreciar en la figura 5.40.

A continuación se aplicó la carga vertical centrada a una velocidad uniforme de 0,06 kN/s hasta que se produjo la rotura indicada en la figura 5.41. El cálculo de la resistencia a flexotracción se hizo de acuerdo a la norma UNE-EN 196-1:2005 (AENOR). Las dos mitades de cada probeta de la figura 5.42. que se obtuvieron tras la rotura se ensayaron a compresión.

Para la rotura de las probetas que disponían de fibra multifilamento se acopló un captador indicado en la figura 5.43. que mide la deformación vertical que se produce en las probetas durante el ensayo.



Figura 5.40. Colocación de la probeta

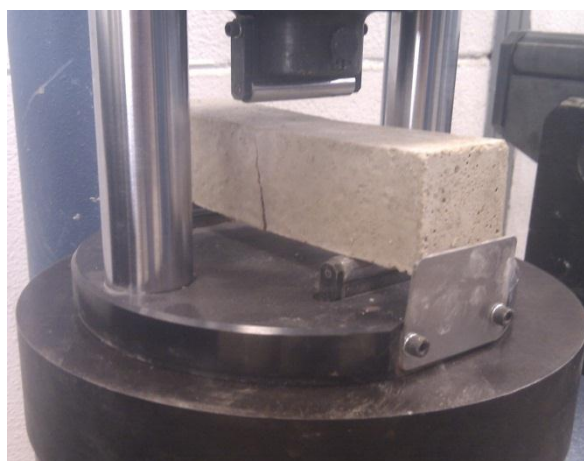


Figura 5.41. Probeta rota a flexotracción



Figura 5.42. Mitades obtenidas



Figura 5.43. Captador

5.3.1.2.-Ensayo de resistencia a compresión:

El ensayo de resistencia a compresión se efectuó una vez concluido el ensayo a flexotracción. Para ello se emplearon los semiprismas resultantes del ensayo anteriormente descrito.

La superficie de carga de la máquina de ensayo así como los platos de apoyo y el adaptador de ensayo se limpiaron con un paño y se instaló el semiprisma centrado en la máquina de tal modo que la carga se aplique en una de sus caras (la que ha estado en contacto con las paredes del molde) como en la figura 5.44.

A continuación se aplicó la carga a una velocidad uniforme de 1,5 kN/s hasta que se produjo la rotura que podemos ver en la figura 5.45. El cálculo de la resistencia a compresión se hizo de acuerdo a la norma UNE-EN 196-1:2005 (AENOR).



Figura 5.44. Colocación de la probeta



Figura 5.45. Probeta rota a compresión

5.3.2.-Resistencia térmica

Este ensayo no se ha podido realizar puesto que la máquina a utilizar se estropeó en el momento de la realización del ensayo. A continuación describiremos cómo se realizaría.

Para determinar la conductividad térmica de nuestro material utilizaríamos el método de la placa guardada. Se ha construido siguiendo la normativa UNE, un equipo indicado en la figura 5.46.

El método de la placa caliente guardada, se basa en que el calor generado por la placa atraviesa dos probetas de ensayo del mismo material, igual superficie y espesor, y sometidas al mismo gradiente de temperaturas. De tal forma que se garantiza que la casi totalidad del calor generado por la placa caliente atraviesa el material a caracterizar.

El equipo consta de una unidad calefactora central indicada en la figura 5.47. que se instala en posición tipo sandwich entre dos muestras, consiste en una resistencia térmica que se controla su temperatura a través de unos termopares. Se colocan dos chapas metálicas, una encima y otra debajo, que conducen y reparten uniformemente el calor a las muestras a ensayar.

Las unidades de enfriamiento se colocan encima y debajo de las muestras conectadas en serie, ver figura 5.48, y se mantienen a una temperatura constante y

uniforme mediante el paso de un líquido refrigerante a través de ellas.

Es importante aislar térmicamente tanto el material de ensayo como la placa caliente para garantizar que las pérdidas de calor sean mínimas con respecto al exterior. Es por eso que el equipo se encuentra físicamente en contacto pero al mismo tiempo aislado del exterior con un material aislante así como por las paredes del equipo.

La norma fija que el incremento de temperatura entre la placa caliente y la placa fría debe ser de 20 °C. En la figura 5.49. Se puede ver el esquema de la disposición para la realización del ensayo.



Figura 5.46. Equipo de ensayo



Figura 5.47. Unidad calefactora



Figura 5.48. Unidades de enfriamiento

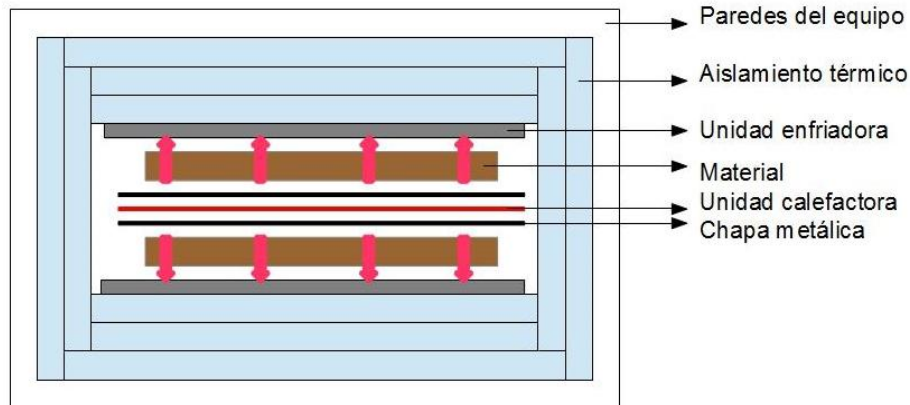


Figura 5.49. Esquema del equipo

El equipo está conectado a un ordenador dotado de un programa que indica el tiempo y la intensidad necesarios para calentar el sistema, por lo que a través de los resultados se obtiene el trabajo eléctrico, ver figura 4.50. La estabilidad térmica se obtiene a las 4 - 6 horas aproximadamente.

$$W_{\text{eléctrico}} = i * t * V_{AB} \quad \rightarrow \quad W_{\text{total}} = \sum i_i * t_i * V_{AB}$$

W: trabajo (Julios)

i: intensidad (Amperios)

t: tiempo (segundos)

V_{AB} : voltaje (24Voltios)

$$W_{\text{total}} / t_{\text{total}} = \text{Potencia media consumida} = \emptyset$$

El principio de medida de los resultados obtenidos es el indicado en la fórmula siguiente. De este modo obtenemos la conductividad térmica del material sometido a ensayo.

$$\Lambda = \frac{(\emptyset x l)}{\Delta T x S}$$

Φ : flujo de calor (W)

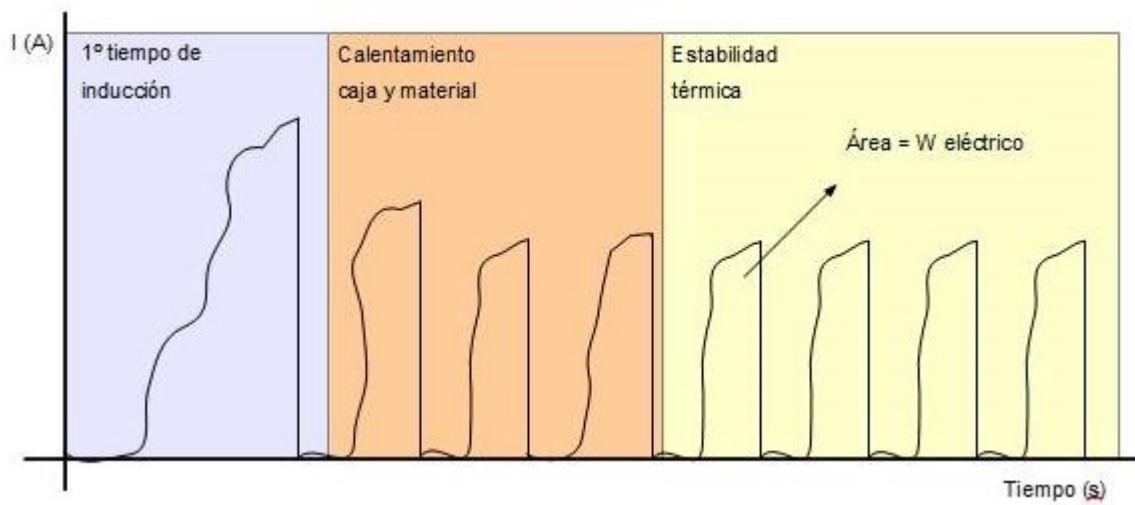
l: espesor de la muestra (m)

ΔT : incremento de temperatura ($20\text{ }^{\circ}\text{C} = 293\text{ K}$)

S: superficie de contacto (m^2)

λ : conductividad térmica del material ($\text{W/k} \cdot \text{m}$)

Figura 5.50. Gráfica de los resultados obtenidos



CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Resultados de las dosificaciones de prueba

PRUEBA 1

Escurrimiento: 200 mm

Consistencia: plástica-fluida

Válida: NO.



Figura 6.1. Prueba 1

PRUEBA 2

Escurrecimiento: 170 mm

Consistencia: plástica

Válida: NO.



Figura 6.2. Prueba 1

PRUEBA 3

Escurrecimiento: 150 mm

Consistencia: plástica

Válida: NO.



Figura 6.3. Prueba 3

PRUEBA 4

Escurrecimiento: 153 mm

Consistencia: plástica

Válida: NO.



Figura 6.4. Prueba 4

PRUEBA 5

Escurrecimiento: 195 mm

Consistencia: plástica

Válida: NO.



Figura 6.5. Prueba 5

PRUEBA 6

Escurrecimiento: 225 mm

Consistencia: fluida

Válida: SI.



Figura 6.6. Prueba 6

PRUEBA 7

Escurrecimiento: 190 mm

Consistencia: plástica

Válida: NO.

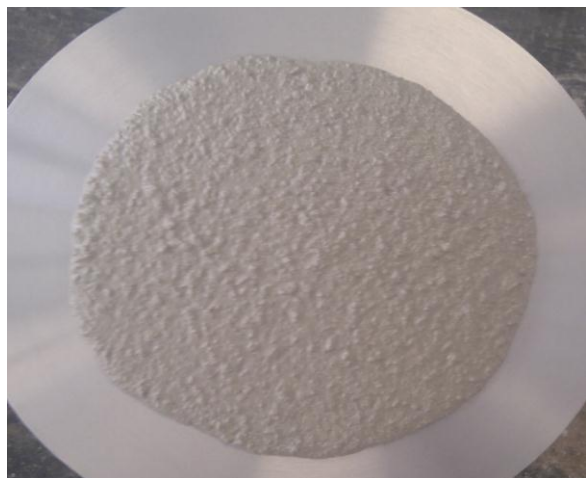


Figura 6.7. Prueba 7

PRUEBA 8

Escurrimiento: 205 mm

Consistencia: fluida

Válida: NO.



Figura 6.8. Prueba 8

PRUEBA 9

Escurrimiento: 215 mm

Consistencia: fluida

Válida: NO.



Figura 6.9. Prueba 9

PRUEBA 10

Escurrimiento: 218 mm

Consistencia: fluida

Válida: SI.



Figura 6.20. Prueba 10

PRUEBA 11

Escurrecimiento: 150 mm

Consistencia: plástica

Válida: NO.

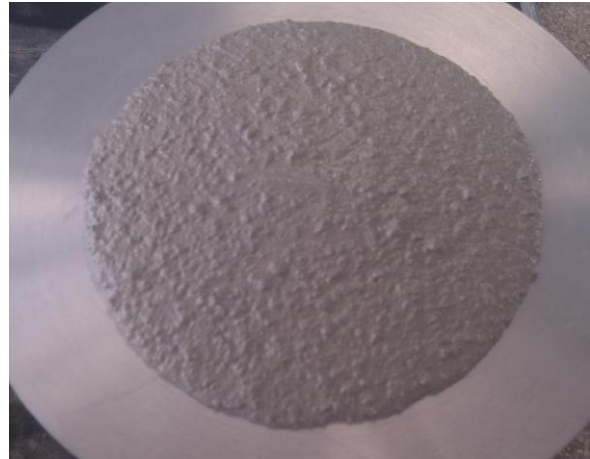


Figura 6.31. Prueba 11

PRUEBA 12

Escurrecimiento: 165 mm

Consistencia: plástica

Válida: NO.



Figura 6.42. Prueba 12

PRUEBA 13

Escurrecimiento: 195 mm

Consistencia: plástica

Válida: NO.



Figura 6.53. Prueba 13

PRUEBA 14

Escurrimiento: 210 mm

Consistencia: fluida

Válida: SI.



Figura 6.64. Prueba 14

PRUEBA 15

Escurrimiento: 205 mm

Consistencia: fluida

Válida: SI.



Figura 6.75. Prueba 15

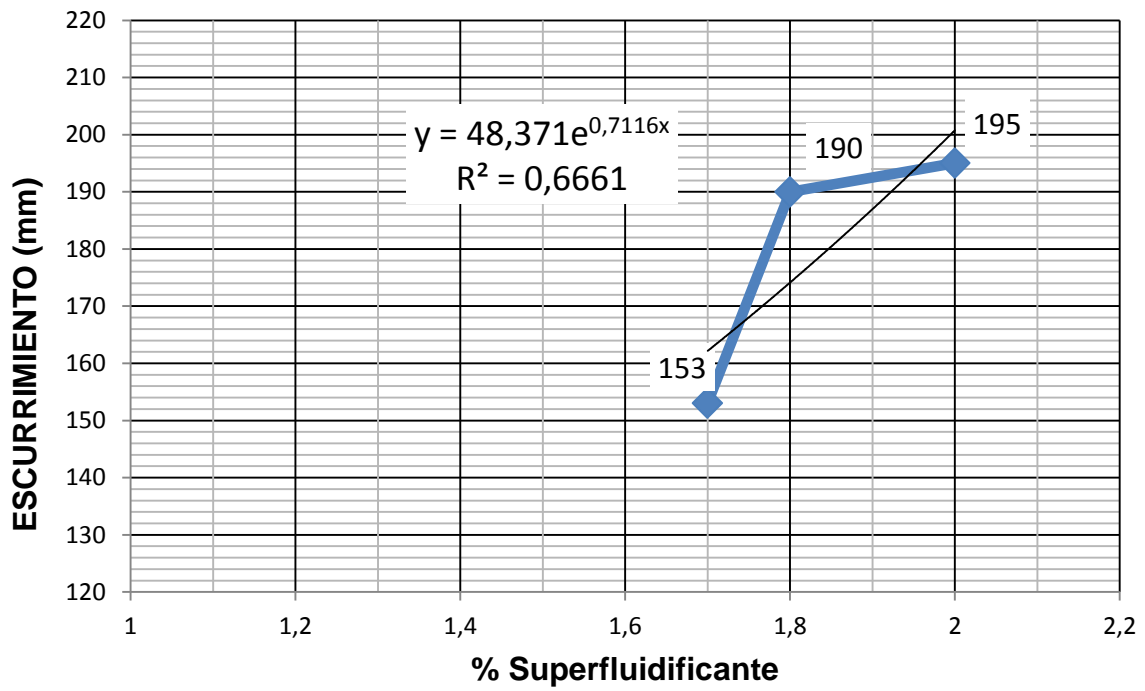


Figura 6.86. Relación a/c 0,78

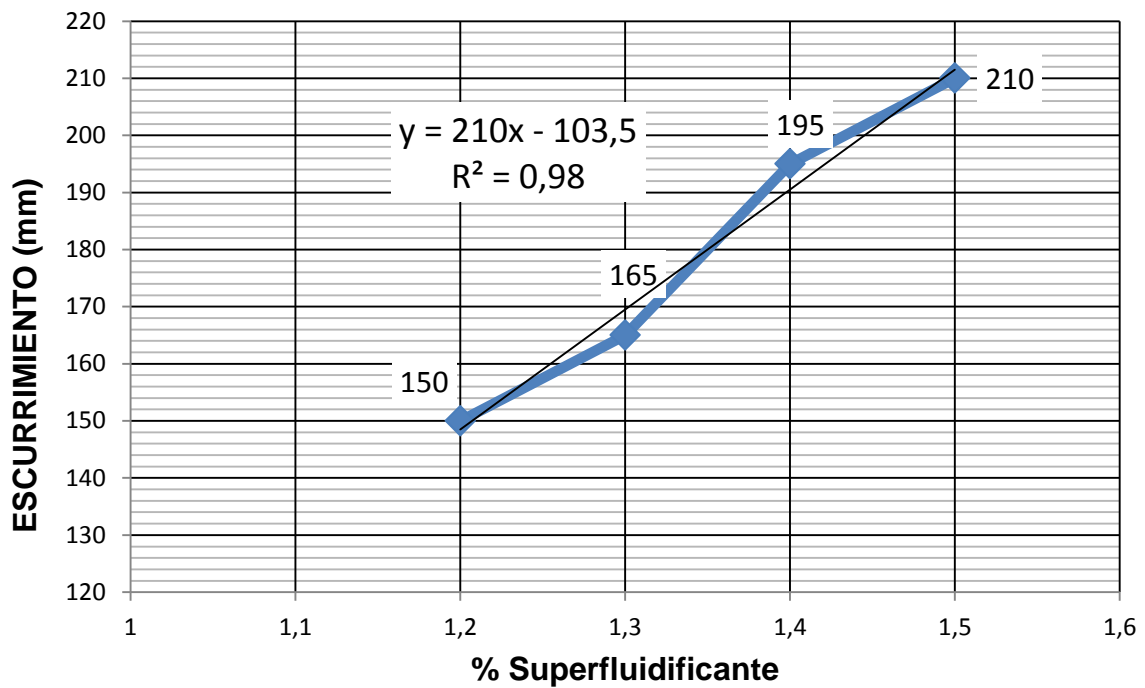


Figura 6.97. Relación a/c 0,78

Según las tablas 6.16. y 6.17. se puede observar como al aumentar la cantidad de aditivo superfluidificante, aumenta considerablemente el escurrimiento del mortero. Deducimos que el rango de proporciones escogido de este aditivo es adecuado.

En el anejo C se muestran los resultados de los ensayos de mortero fresco de las dosificaciones de prueba.

6.2. Dosificaciones adoptadas

Las tablas 6.1. y 6.2. muestran las dosificaciones adoptadas para analizar las características definidas en los capítulos anteriores. En los anejos D y E se pueden ver con más detalle las soluciones que se han empleado y sus los resultados de sus ensayos. Estas dosificaciones han permitido obtener morteros autonivelantes que cumplen con los criterios de diseño establecidos para nuestro proyecto.

| Mortero | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Tipo de cemento | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R |
| Cemento | 330 g | 330 g | 330 g | 330 g | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 259 g | 259 g | 259 g | 259 g | 259 g |
| Arena 0/2 | 572 g | 572 g | 572 g | 570 g | 570 g | 570 g |
| Arena 0/4 | 1122 g | 1122 g | 1122 g | 1121 g | 1121 g | 1121 g |
| Superplastificante | 1,5% peso cemento | 1,5% peso cemento | 1,5% peso cemento | 1,5% peso cemento | 1,5% peso cemento | 1,5% peso cemento |
| Aireante | 0 | 0 | 0 | 0,10% peso cemento | 0,10% peso cemento | 0,10% peso cemento |
| Retardador de fraguado | 0,05% peso cemento | 0,10% peso cemento | 0,15% peso cemento | 0,05% peso cemento | 0,10% peso cemento | 0,15% peso cemento |
| Controlador de fisuración | 1% peso cemento | 1% peso cemento | 1% peso cemento | 1% peso cemento | 1% peso cemento | 1% peso cemento |
| Fibras multifilamento | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Relación a/c | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 |
| Designación | C2-R0,05 | C2-R0,10 | C2-R0,15 | C2-R0,05+A0,1 | C2-R0,10+A0,1 | C2-R0,15+A0,1 |

Tabla 6.18. Dosificaciones propuestas de los morteros autonivelantes sin fibras (para 1 litro de mortero)

| Mortero | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Tipo de cemento | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R |
| Cemento | 330 g | 330 g | 330 g | 330 g | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 259 g | 259 g | 259 g | 259 g | 259 g |
| Arena 0/2 | 572 g | 572 g | 572 g | 570 g | 570 g | 570 g |
| Arena 0/4 | 1122 g | 1122 g | 1122 g | 1121 g | 1121 g | 1121 g |
| Superplastificante | 1,5% peso cemento | 1,5% peso cemento | 1,5% peso cemento | 1,5% peso cemento | 1,5% peso cemento | 1,5% peso cemento |
| Aireante | 0 | 0 | 0 | 0,10% peso cemento | 0,10% peso cemento | 0,10% peso cemento |
| Retardador de fraguado | 0,05% peso cemento | 0,10% peso cemento | 0,15% peso cemento | 0,05% peso cemento | 0,10% peso cemento | 0,15% peso cemento |
| Controlador de fisuración | 1% peso cemento | 1% peso cemento | 1% peso cemento | 1% peso cemento | 1% peso cemento | 1% peso cemento |
| Fibras multifilamento | 0,6 g | 0,6 g | 0,6 g | 0,6 g | 0,6 g | 0,6 g |
| Relación a/c | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 |
| Designación | C2-R0,05+F | C2-R0,10+F | C2-R0,15+F | C2-R0,05+A0,1+F | C2-R0,10+A0,1+F | C2-R0,15+A0,1+F |

Tabla 6.19. Dosificaciones propuestas de los morteros autonivelantes con fibras (para 1 litro de mortero)

6.3. Resultados de los ensayos en estado fresco

En el anejo D se muestran los resultados de los ensayos de mortero en estado fresco para cada una de las dosificaciones adoptadas.

6.3.1. Ensayo de escurrimiento

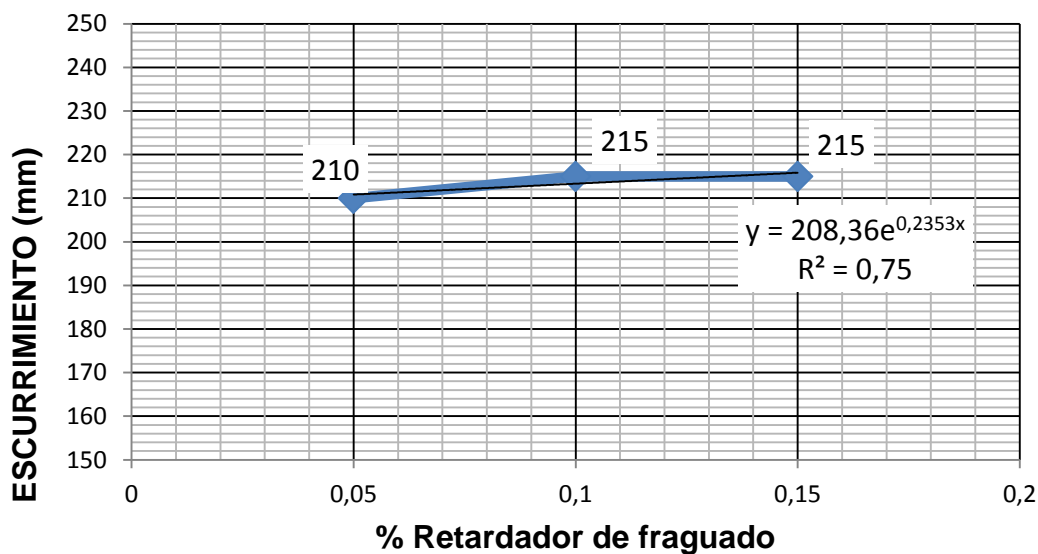


Figura 6.20. Relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2-Amasada 1

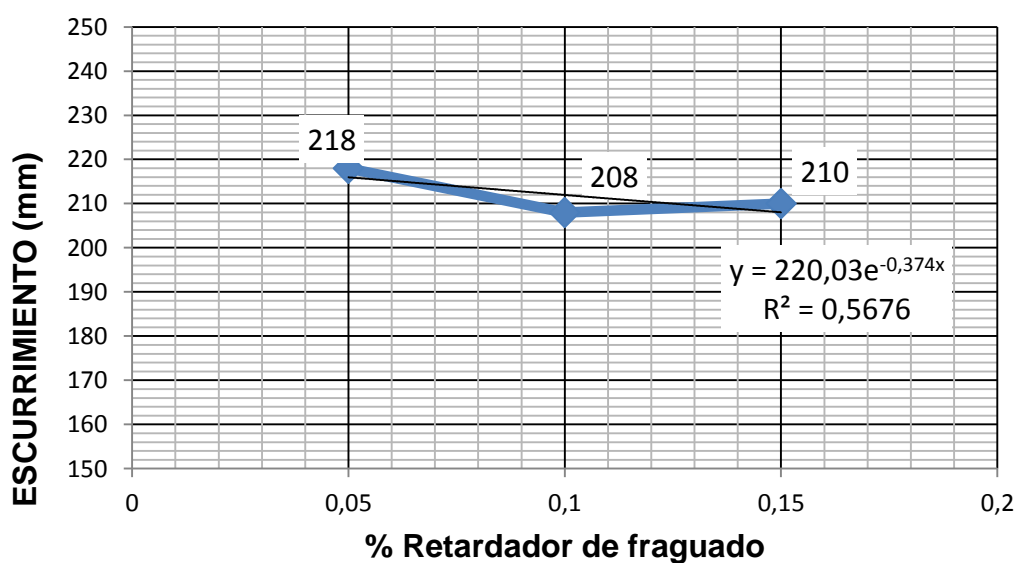


Figura 6.21. Relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2-Amasada 2

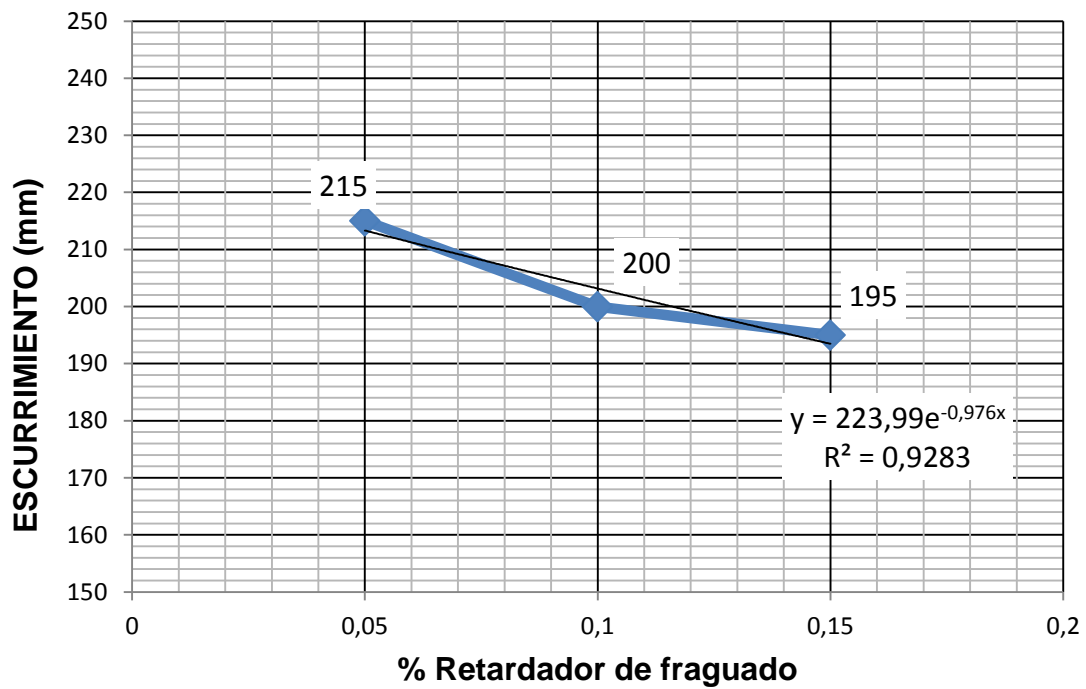


Figura 6.22. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + F. C2+F

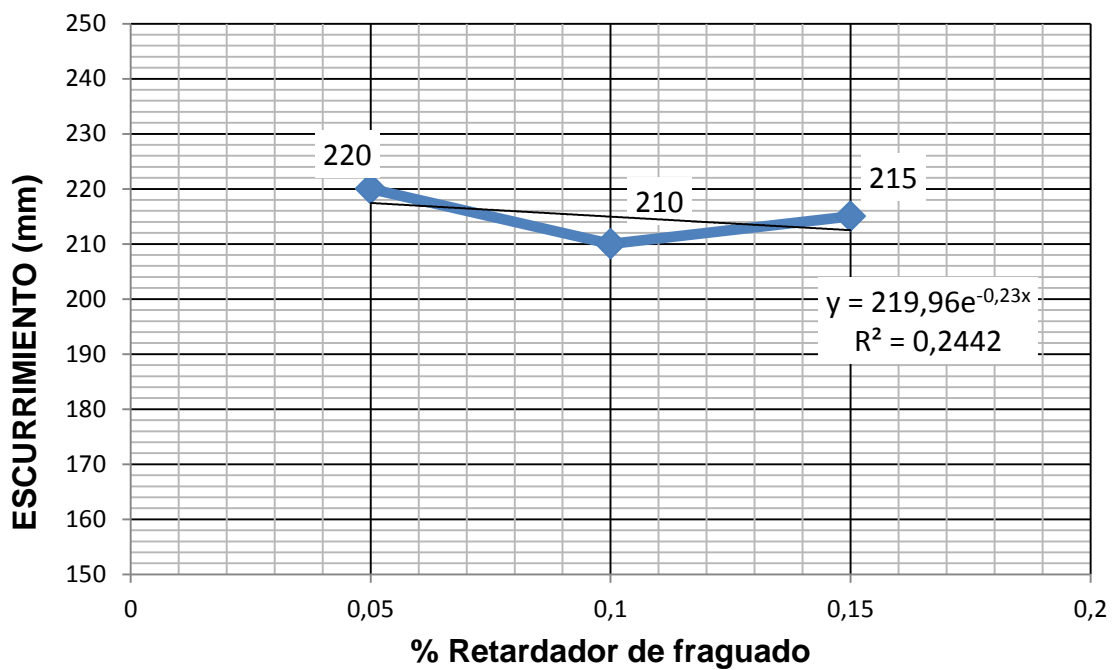


Figura 6.23. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1%. C2+A0,1%+F-Amasada 1

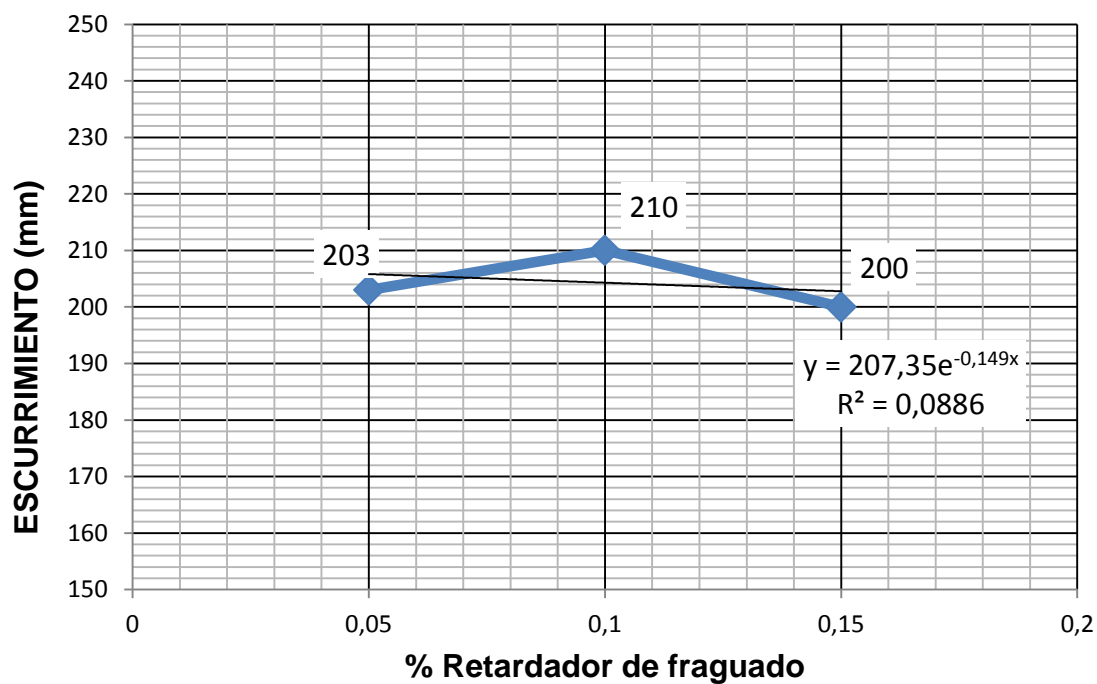


Figura 6.24. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1%. C2+A0,1-Amasada 2

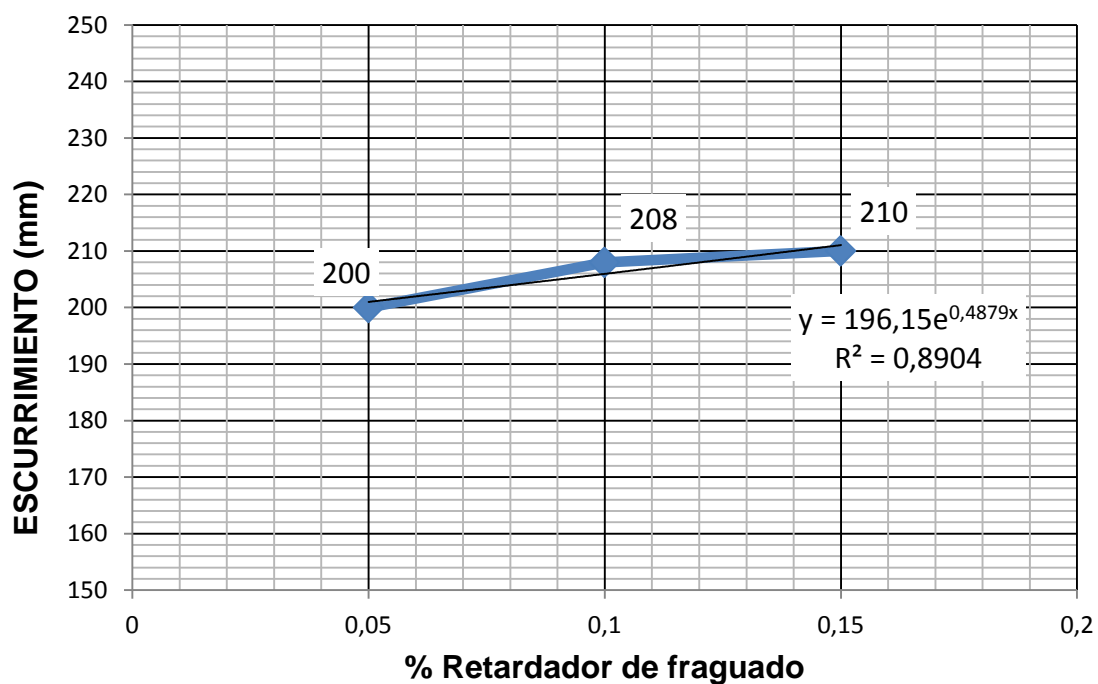


Figura 6.25. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1% + F. C2+A0,1

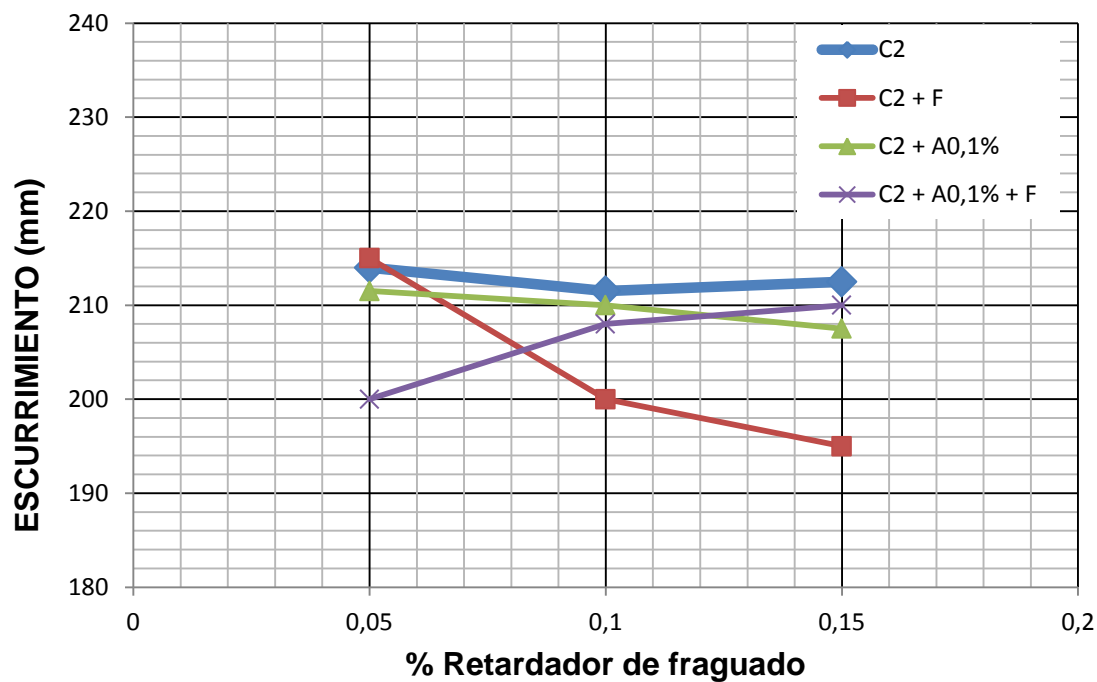


Figura 6.26. Comparativa relación a/c 0,78 + SP 1,5% C2.

En la gráfica 6.26. podemos ver como la adición del aditivo retardador de fraguado no influye de manera importante en el escurrimiento de los morteros, los valores son sensiblemente iguales. También podemos ver como el aditivo aireante y las fibras no tienen influencia significativa sobre el escurrimiento de los mismos.

6.3.2. Ensayo de periodo de trabajabilidad

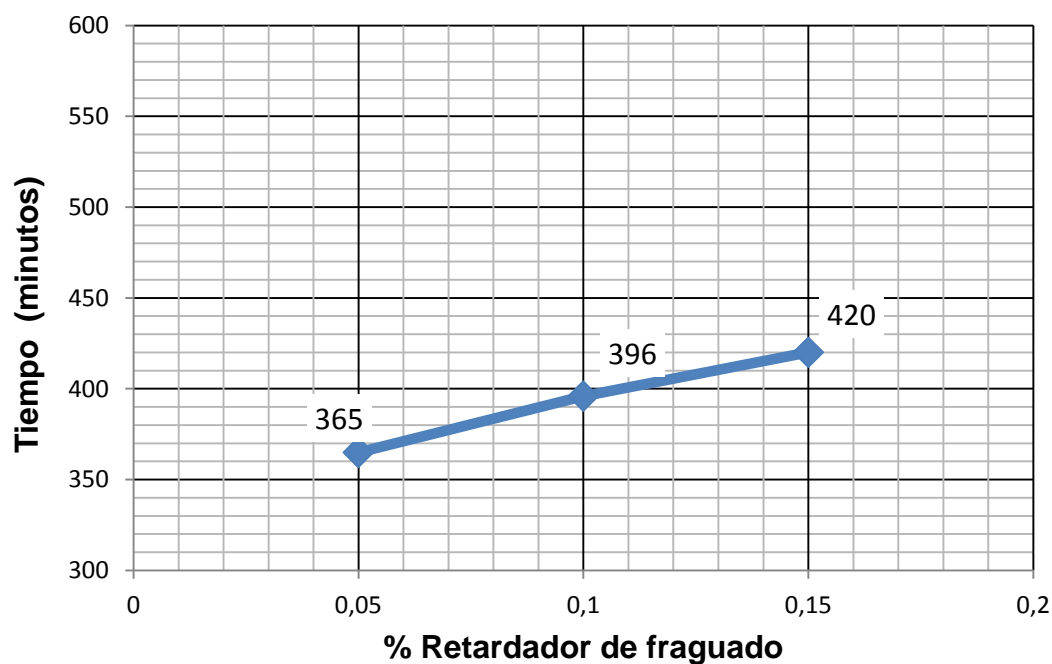


Figura 6.27. Relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2

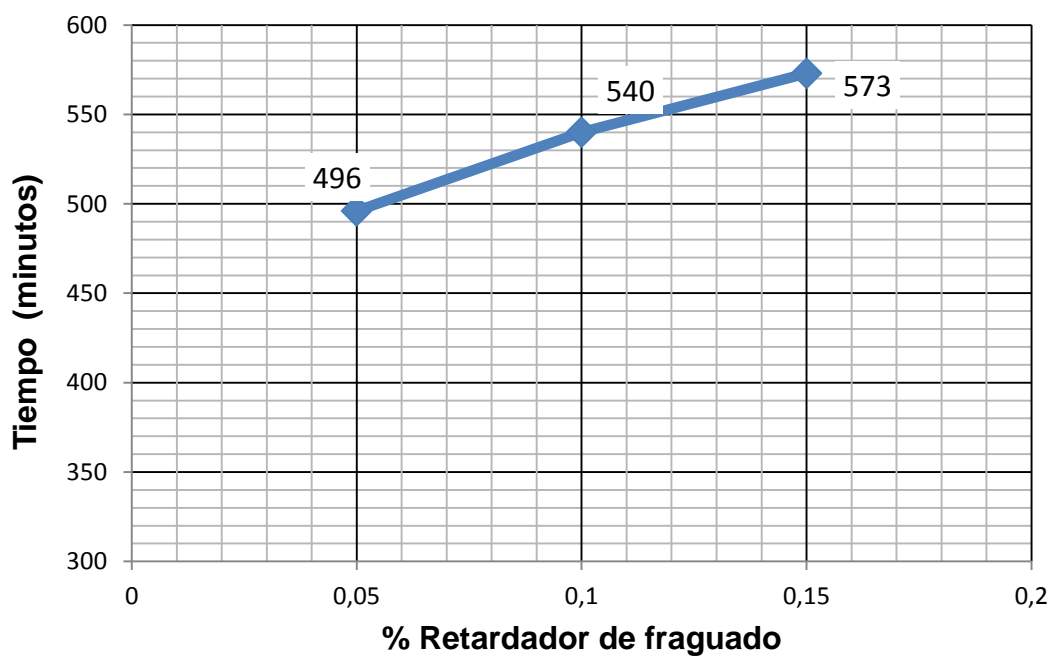


Figura 6.28. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1%. C2+A0,1

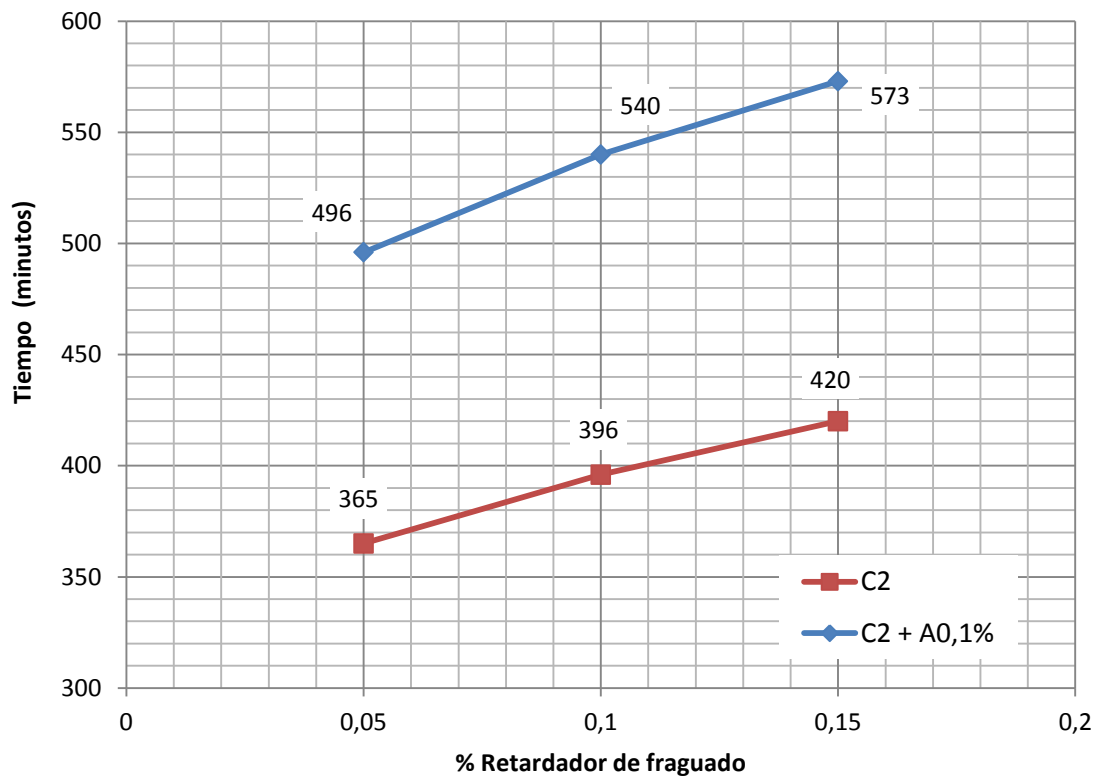


Figura 6.29. Comparativa relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2.

Como se puede apreciar en las gráficas, el tiempo abierto aumenta al aditivar al mortero tanto un retardador de fraguado como un aireante.

6.3.3. Ensayo de aire ocluido

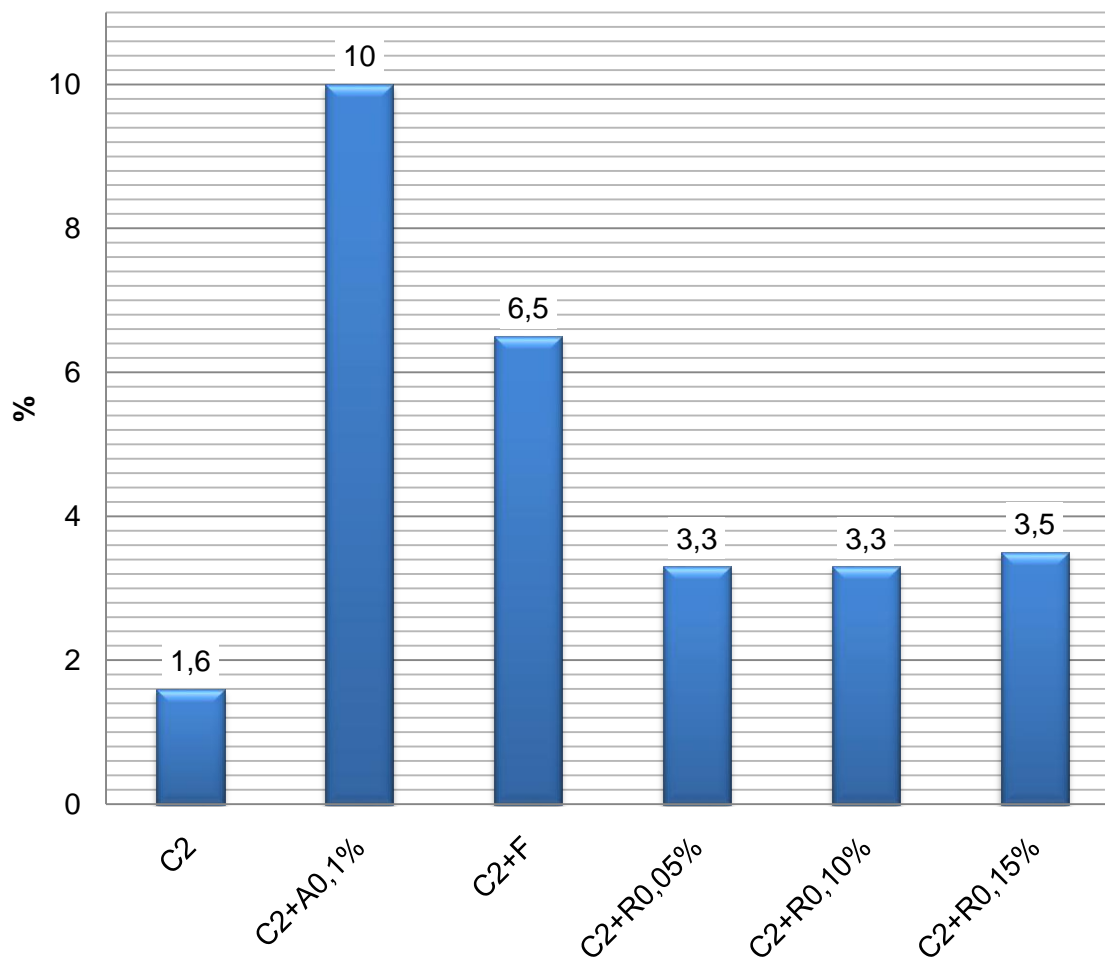


Figura 6.30. Relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2.

El aire contenido de aire en un mortero es alrededor del 1,6 %, dato que podemos observar en nuestro ensayo. De su estudio concluimos que el aditivo inductor de aire proporciona un gran aumento en la cantidad de aire ocluido, ya que es su finalidad. Al añadir fibras o aditivo retardador de fraguado podemos ver como aumenta también la cantidad de aire del mortero. Si observamos la evolución con distintas cantidades de retardador de fraguado podemos decir que el aumento de su proporción no condiciona la cantidad de aire.

6.4. Resultados de los ensayos en estado endurecido

En el anejo E se muestran los resultados de los ensayos de mortero en estado endurecido para cada una de las dosificaciones adoptadas.

6.4.1. Ensayo de flexotracción

6.4.1.1. Flexotracción 7 días

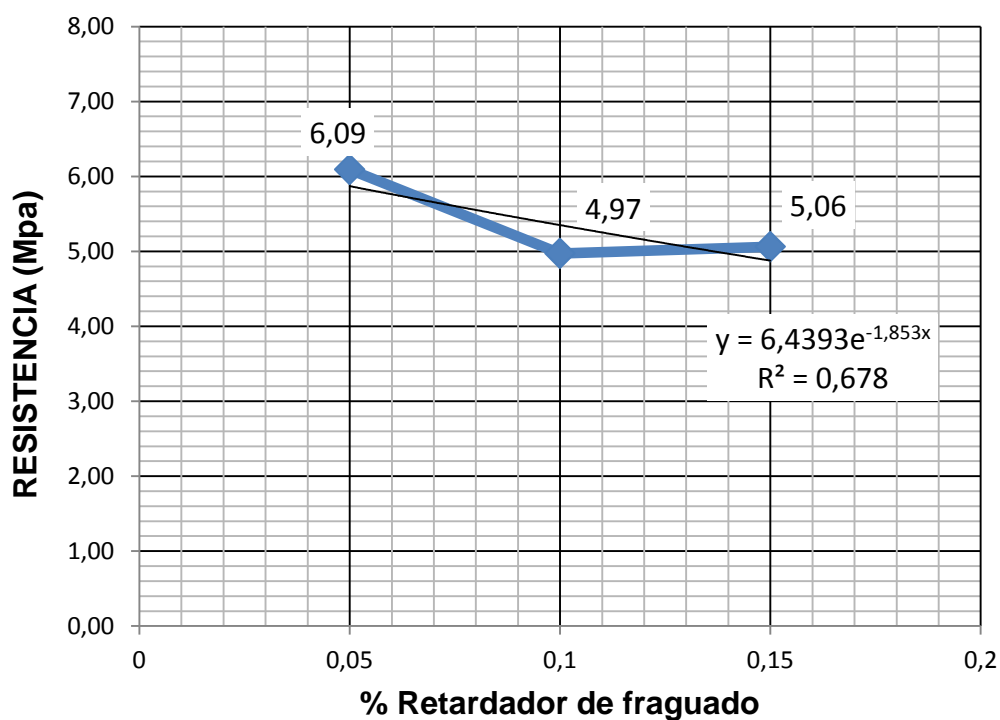


Figura 6.31. Relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2.

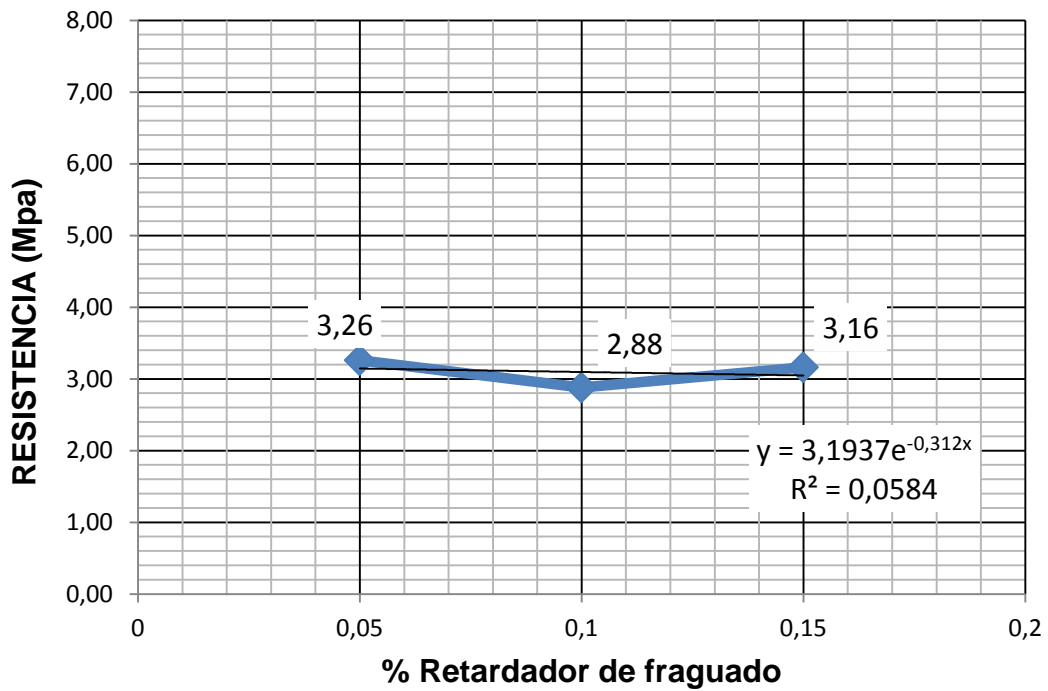


Figura 6.32. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1%. C2+A0,1

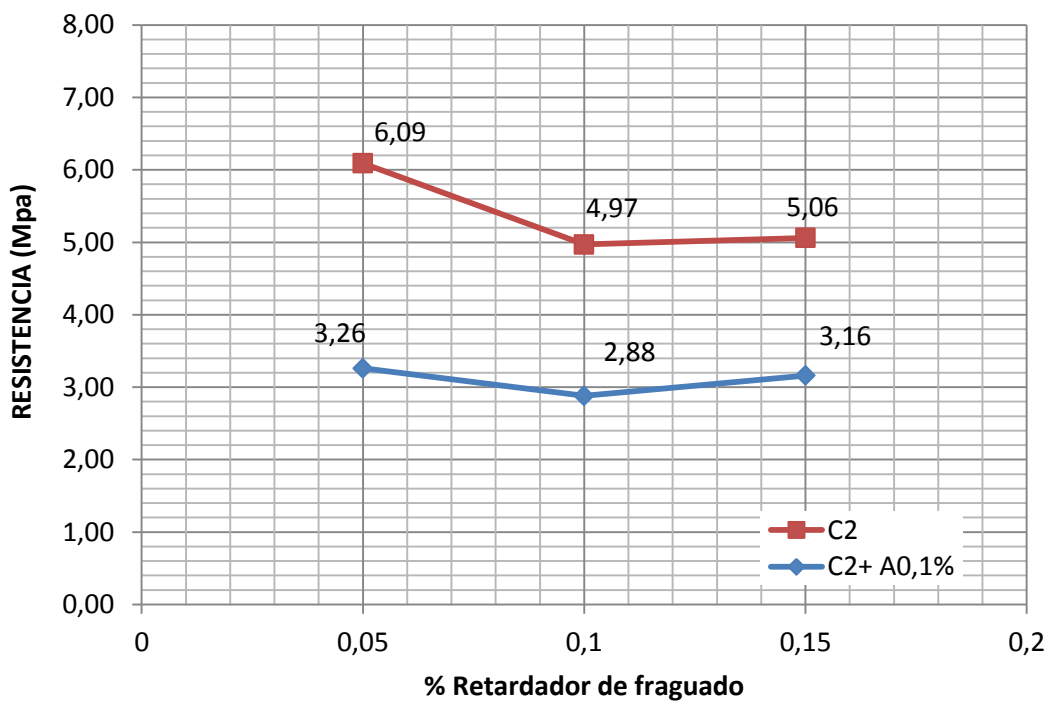


Figura 6.33. Comparativa relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2.

| UNE-EN 1015-11 | |
|----------------|------------|
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| C2-R0,05+F | 5,51 |

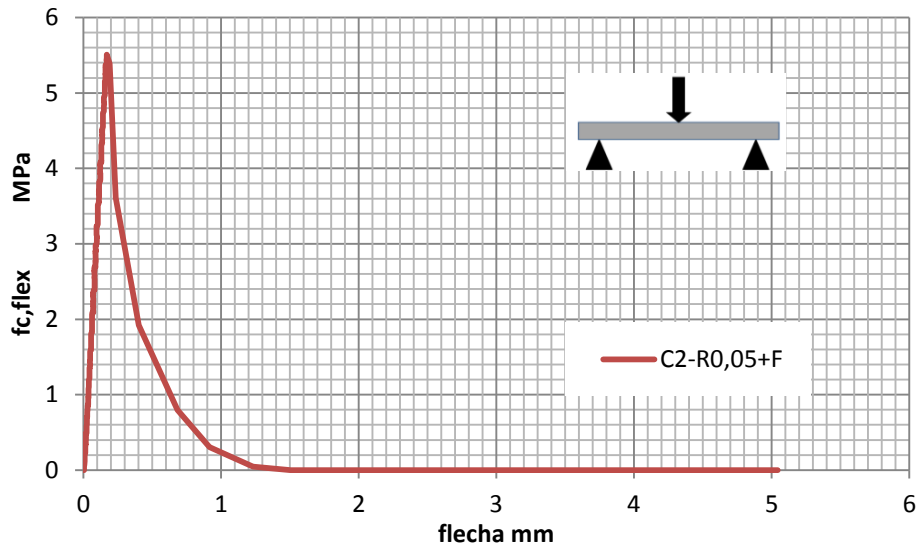


Figura 6.34. Flexotracción a 7 días

| UNE-EN 1015-11 | |
|----------------|------------|
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| C2-R0,1+F | 5,16 |

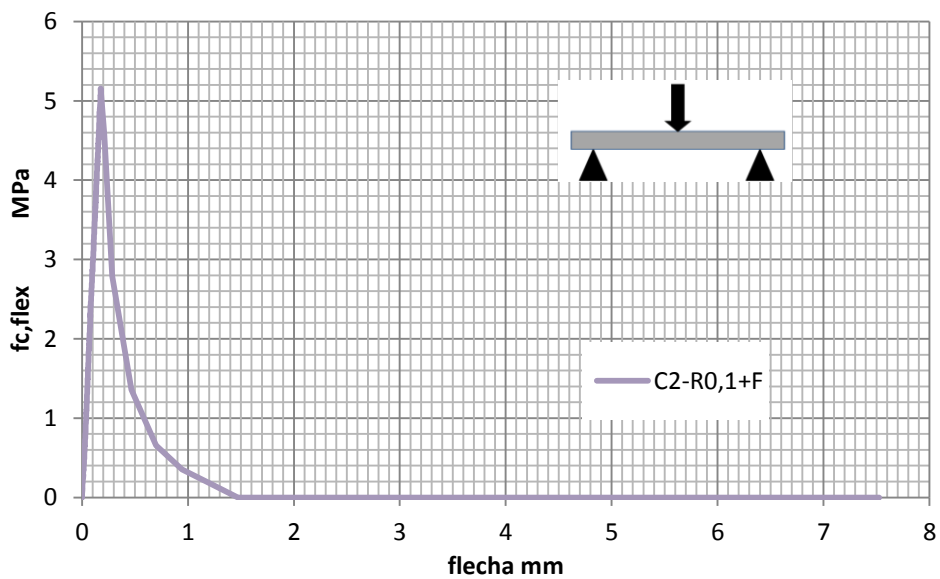


Figura 6.32. Flexotracción a 7 días

| UNE-EN 1015-11 | |
|-----------------|------------|
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| C2-R0,05+A0,1+F | 2,88 |

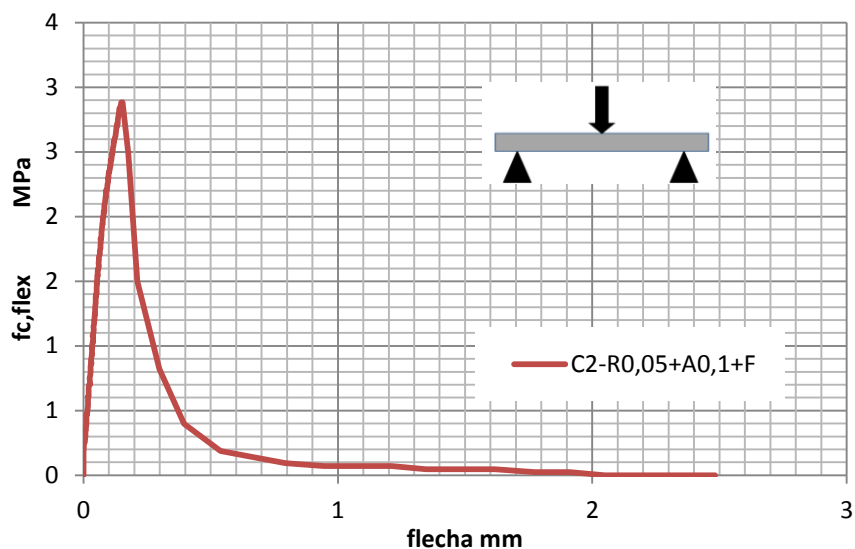


Figura 6.36. Flexotracción a 7 días

| UNE-EN 1015-11 | |
|----------------|------------|
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| C2-R0,1+A0,1 | 2,39 |

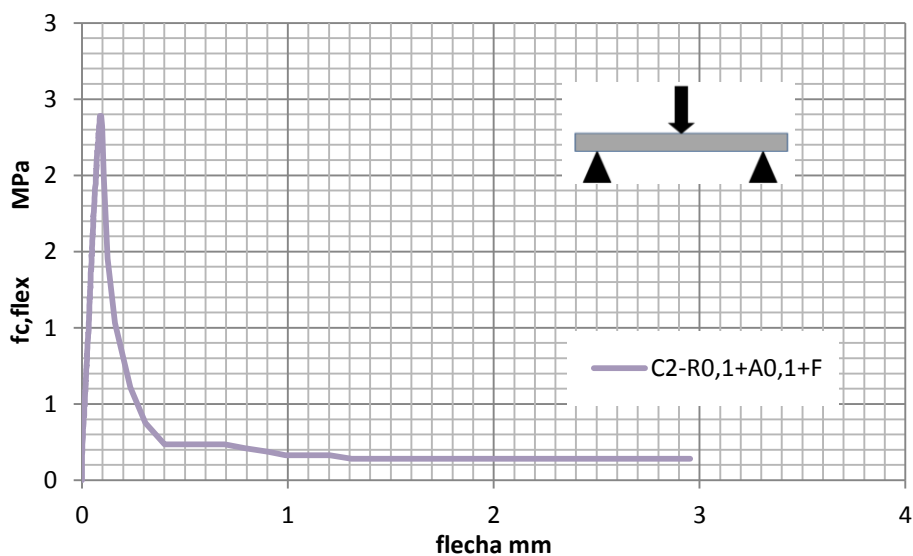


Figura 6.37. Flexotracción a 7 días

| | |
|----------------|------------|
| UNE-EN 1015-11 | |
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| C2-R0,15+0,1+F | 2,37 |

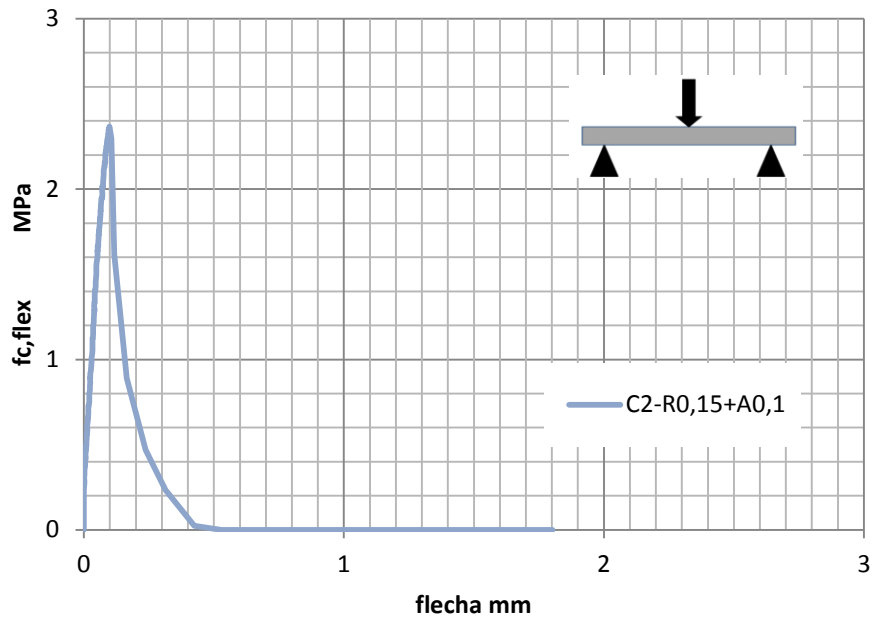


Figura 6.38. Flexotracción a 7 días

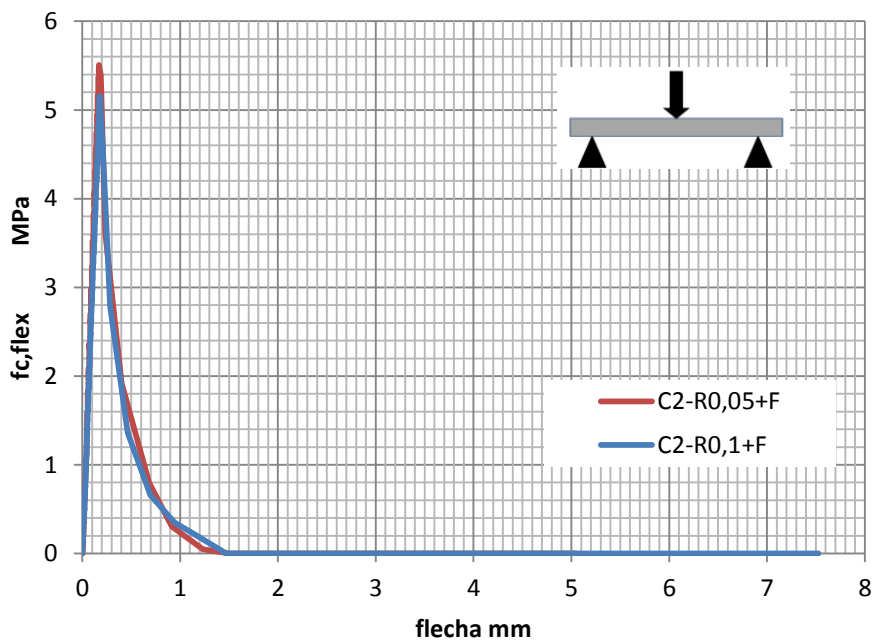


Figura 6.39. Comparativa flexotracción a 7 días

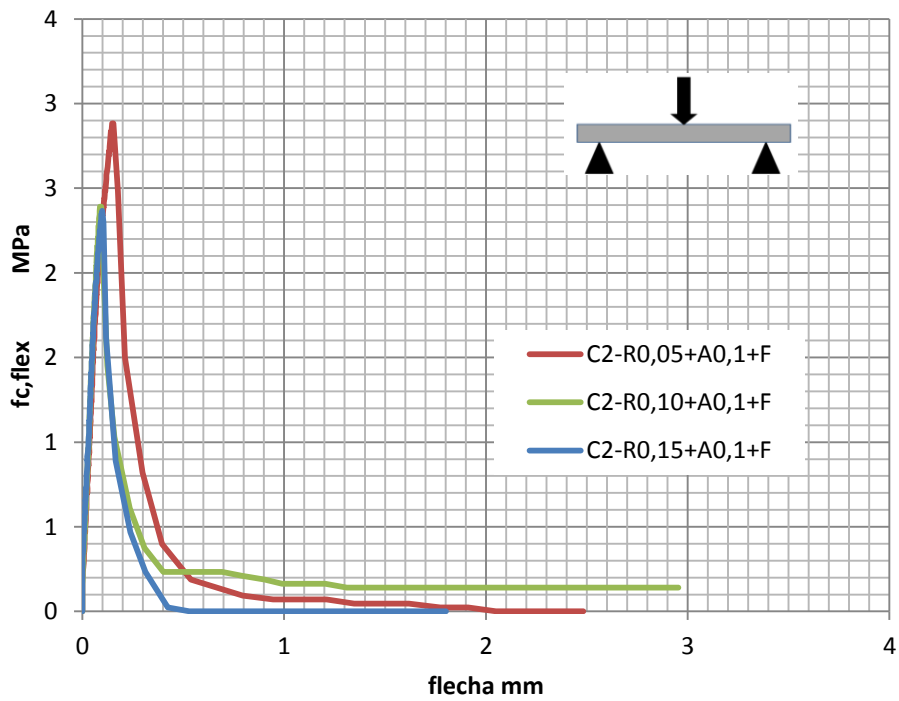


Figura 6.40. Comparativa flexotracción a 7 días

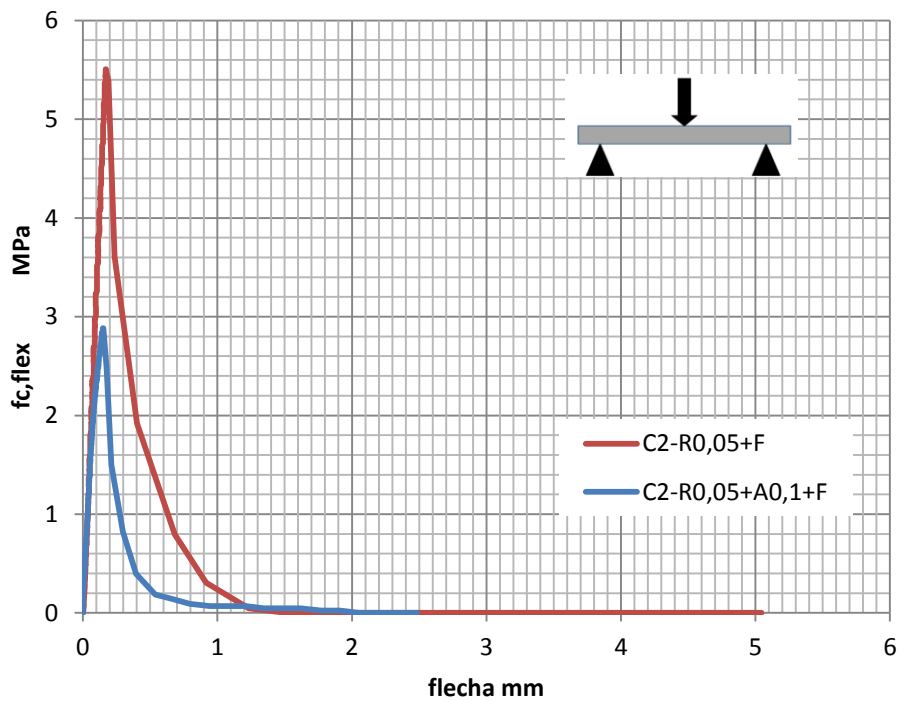


Figura 6.41. Comparativa flexotracción a 7 días

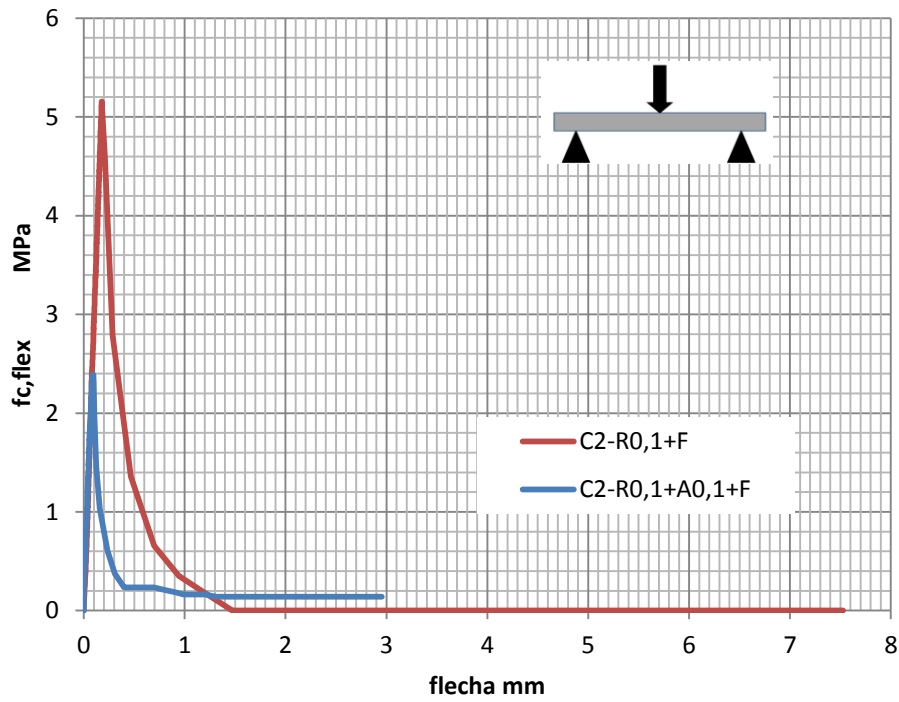


Figura 6.42. Comparativa flexotracción a 7 días

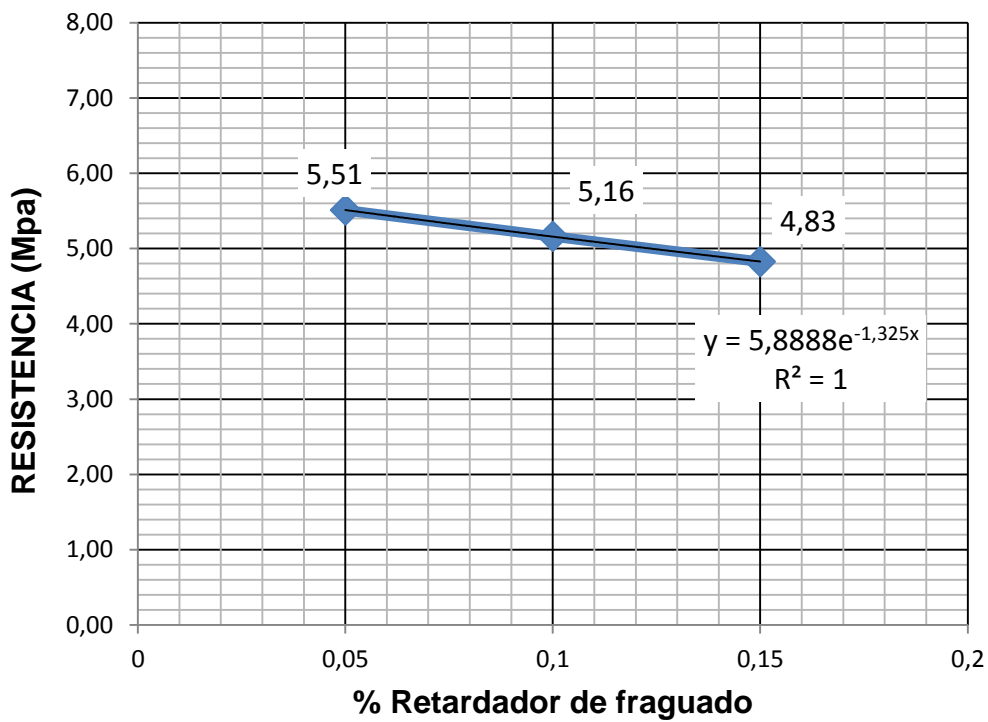


Figura 6.43. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + F. C2+F.

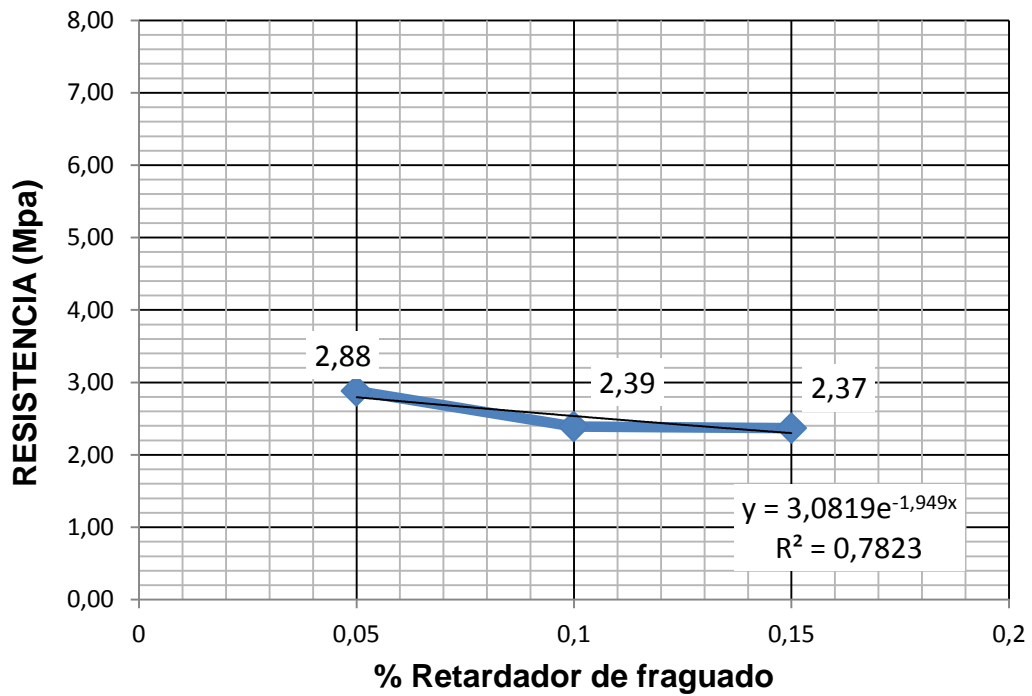


Figura 6.44. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1% + F. C2+A0,1+F.

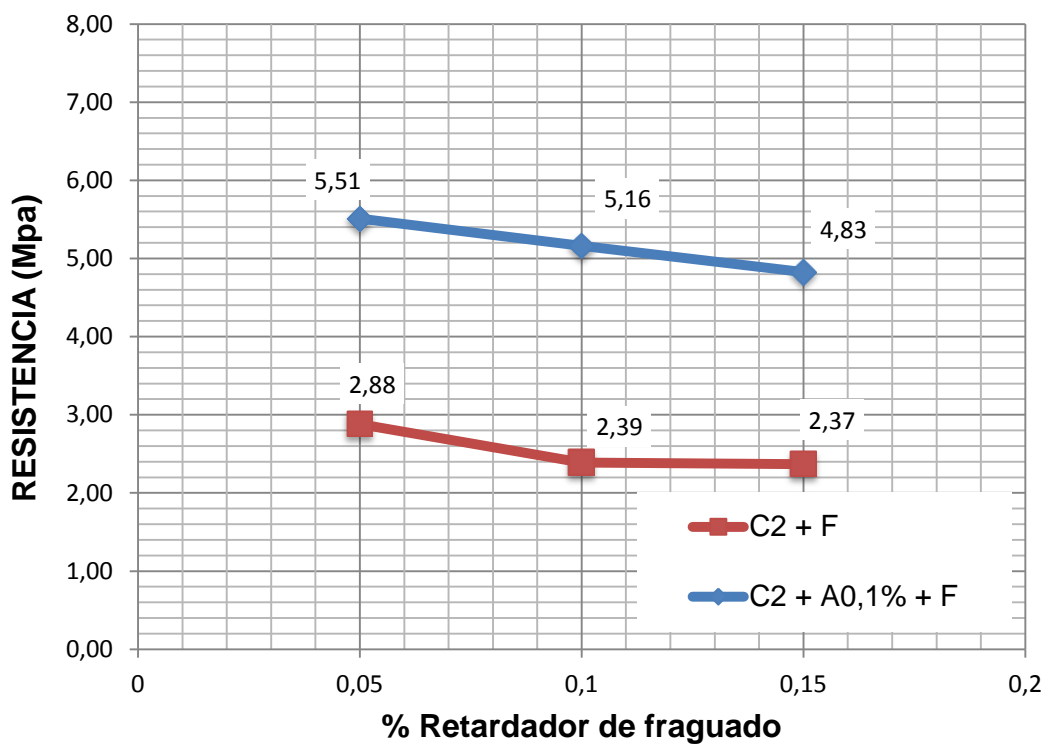


Figura 6.45. Comparativa relación a/c 0,78 + SP 1,5% + F. C2+F

6.4.1.2. Flexotracción 28 días

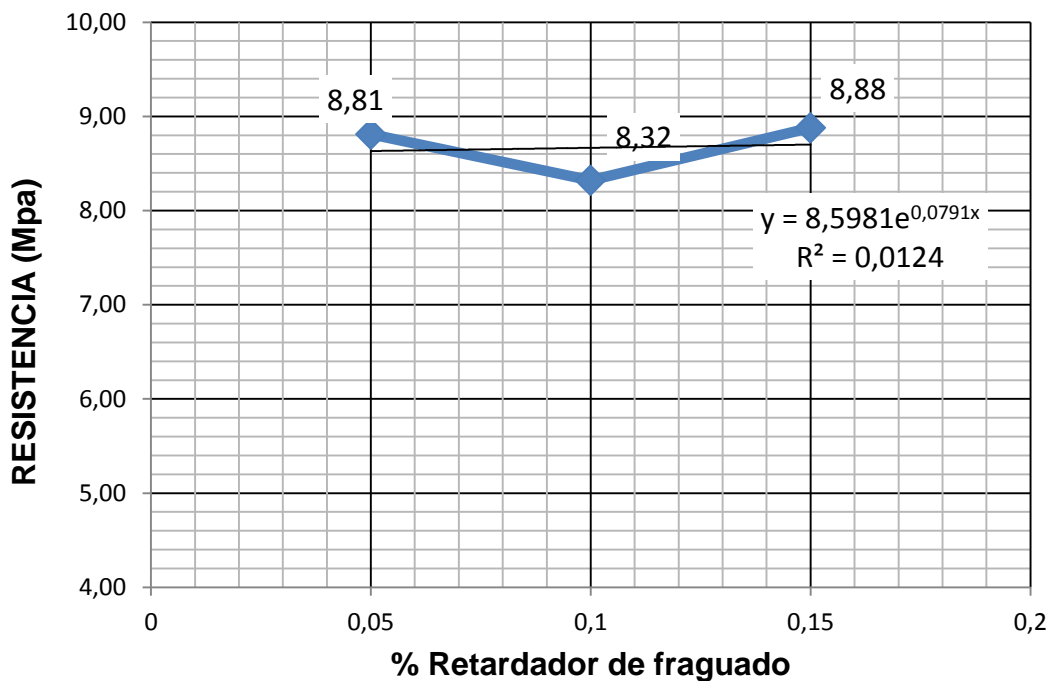


Figura 6.46. Relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2.

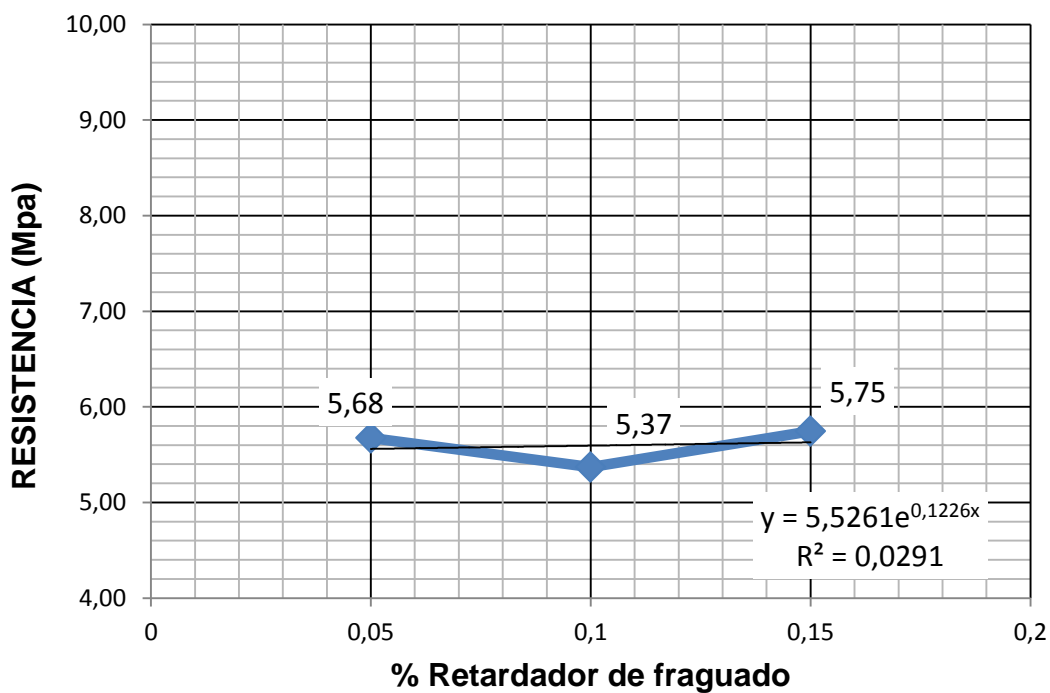


Figura 6.47. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1%. C2+A0,1.

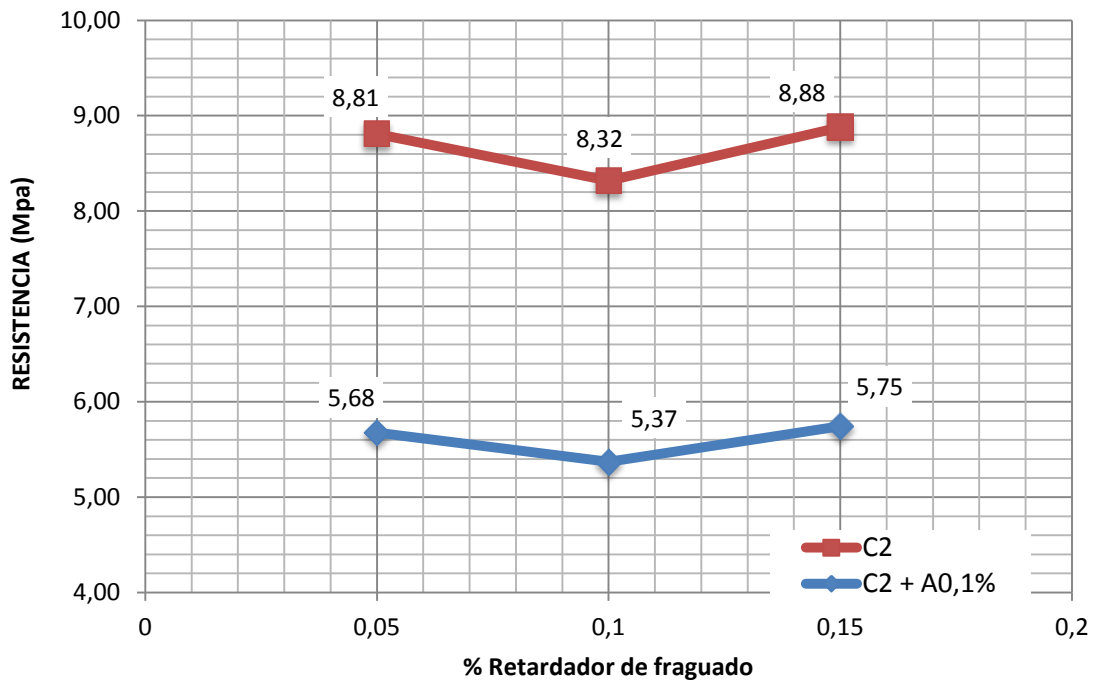


Figura 6.48. Comparativa relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2.

| UNE-EN 1015-11 | |
|----------------|------------|
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| 1.-C2-R0,05+F | 9,45 |
| 2.-C2-R0,05+F | 9,50 |

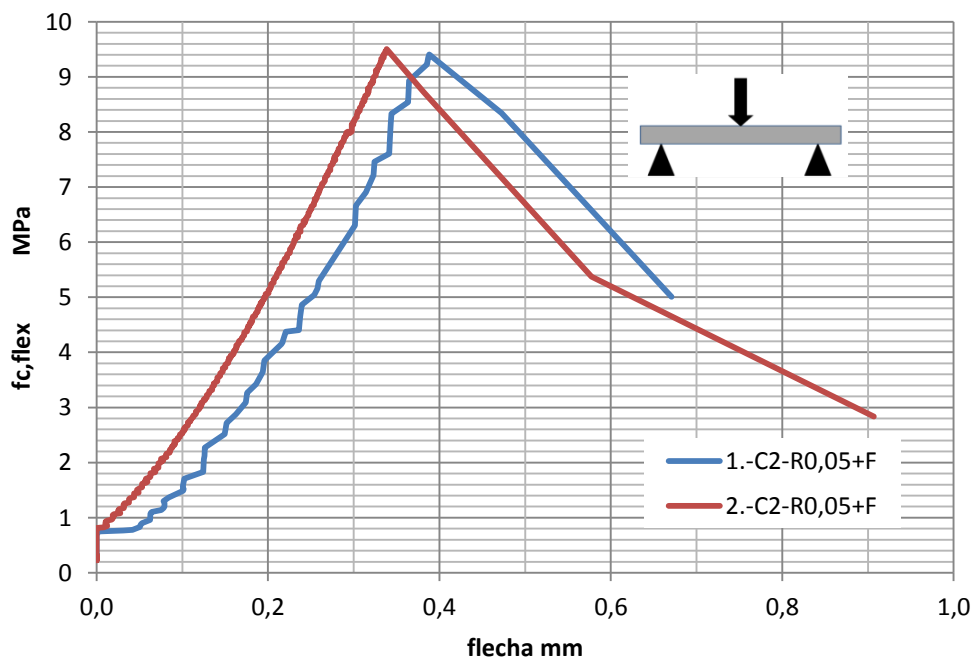


Figura 6.49. Flexotracción a 28 días

| UNE-EN 1015-11 | |
|----------------|------------|
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| 1.-C2-R0,10+F | 7,81 |
| 2.-C2-R0,10+F | 7,84 |

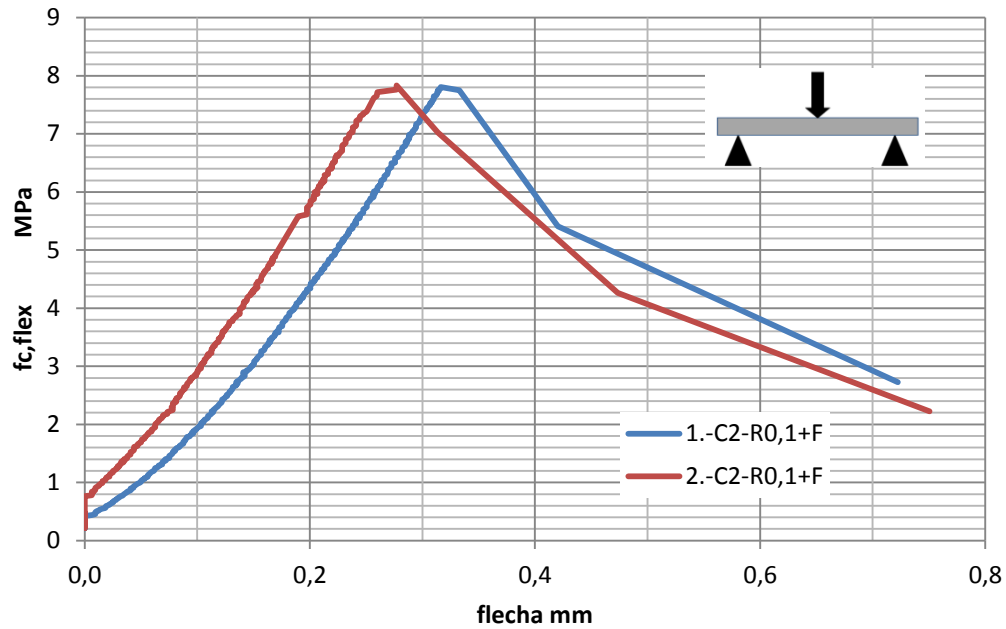


Figura 6.50. Flexotracción a 28 días

| UNE-EN 1015-11 | |
|----------------|------------|
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| 1.-C2-R0,15+F | 8,56 |
| 2.-C2-R0,15+F | 8,71 |

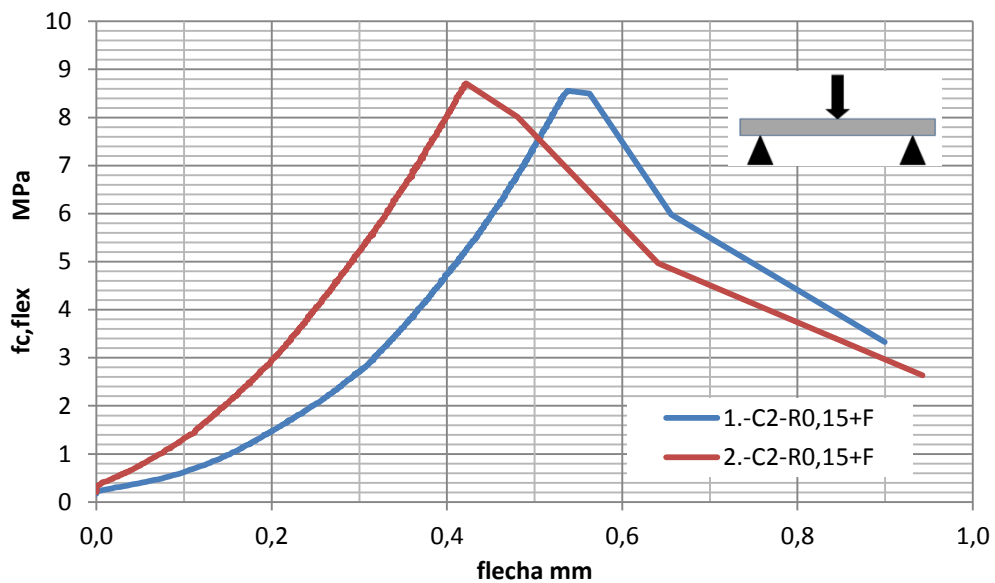


Figura 6.51. Flexotracción a 28 días

| UNE-EN 1015-11 | |
|--------------------|------------|
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| 1.-C2-R0,05+A0,1+F | 5,39 |
| 2.-C2-R0,05+A0,1+F | 5,40 |

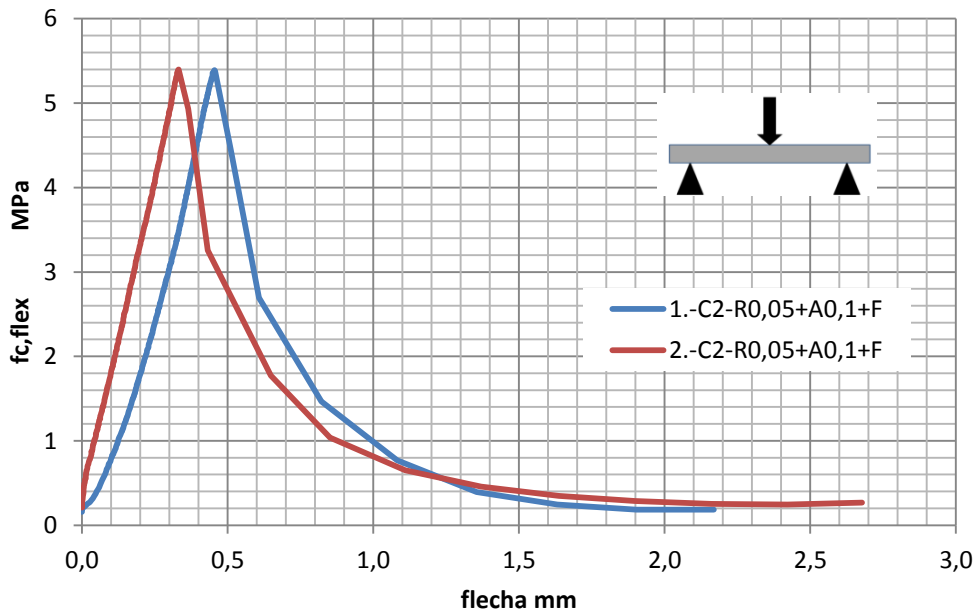


Figura 6.52. Flexotracción a 28 días

| UNE-EN 1015-11 | |
|-------------------|------------|
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| 1.-C2-R0,1+A0,1+F | 4,99 |
| 2.-C2-R0,1+A0,1+F | 5,09 |

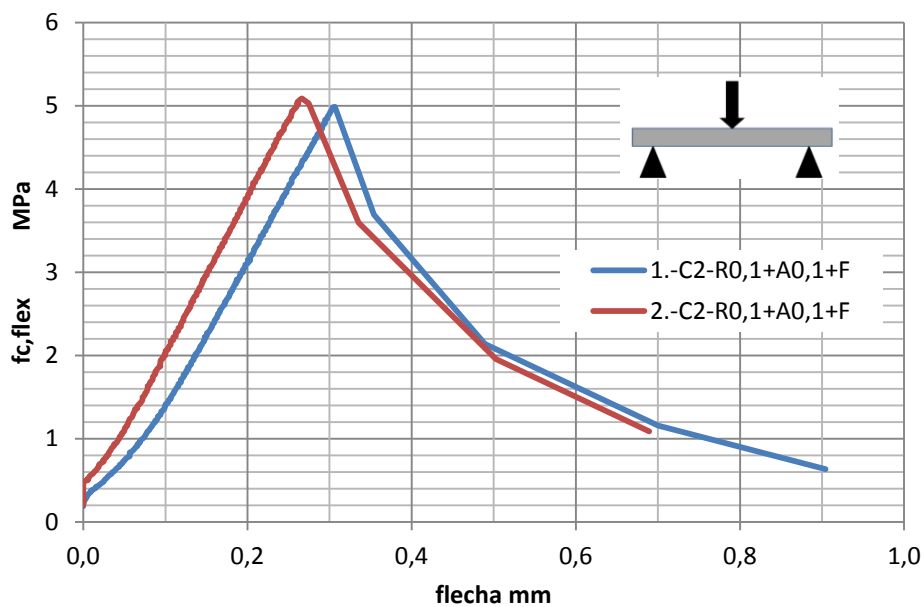


Figura 6.53. Flexotracción a 28 días

| UNE-EN 1015-11 | |
|--------------------|------------|
| Tensión_Mpa | Rotura Mpa |
| 1.-C2-R0,15+A0,1+F | 4,55 |
| 2.-C2-R0,15+A0,1+F | 4,83 |

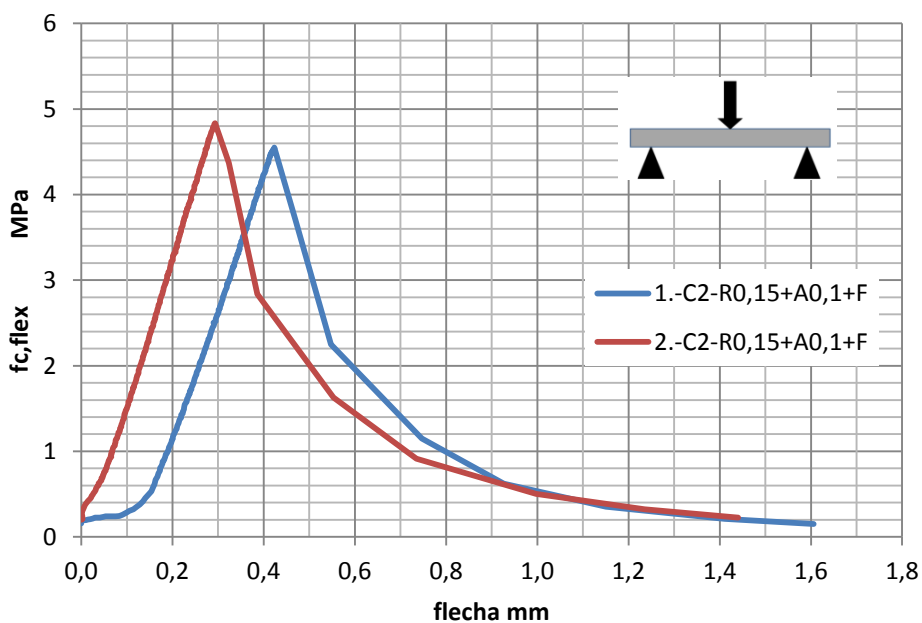


Figura 6.54. Flexotracción a 28 días

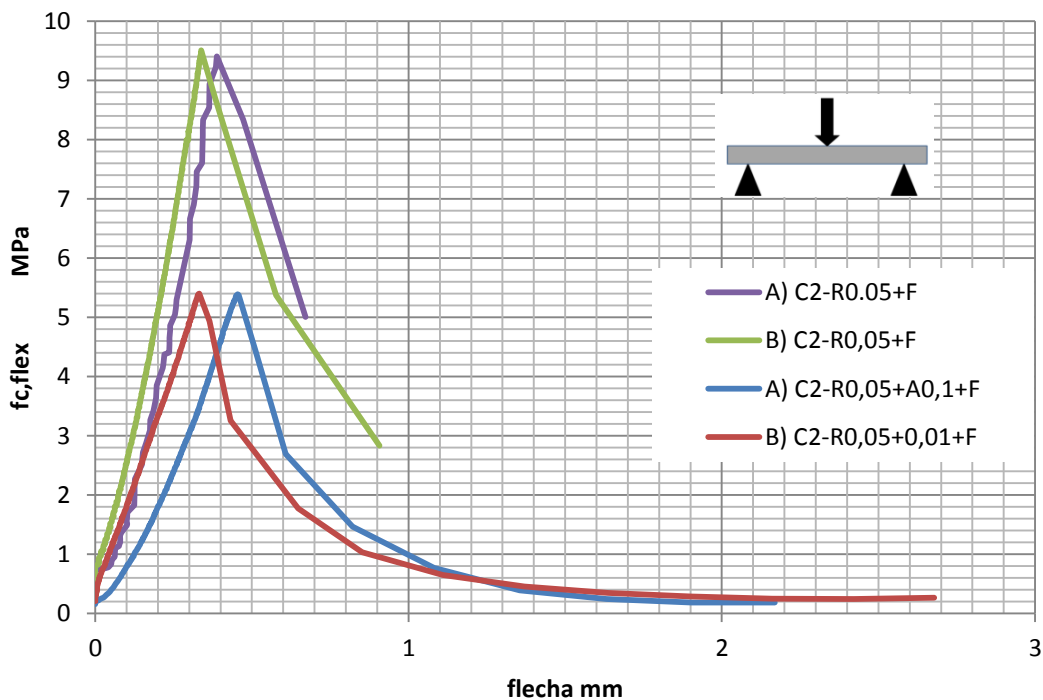


Figura 6.55. Comparativa flexotracción a 28 días

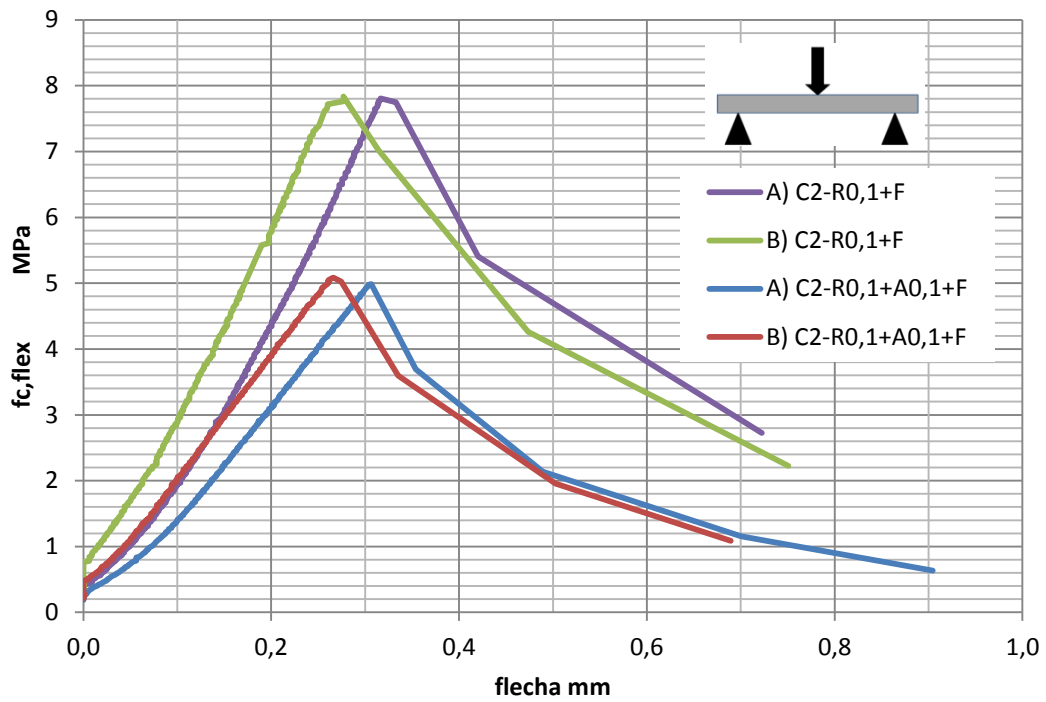


Figura 6.56. Comparativa flexotracción a 28 días

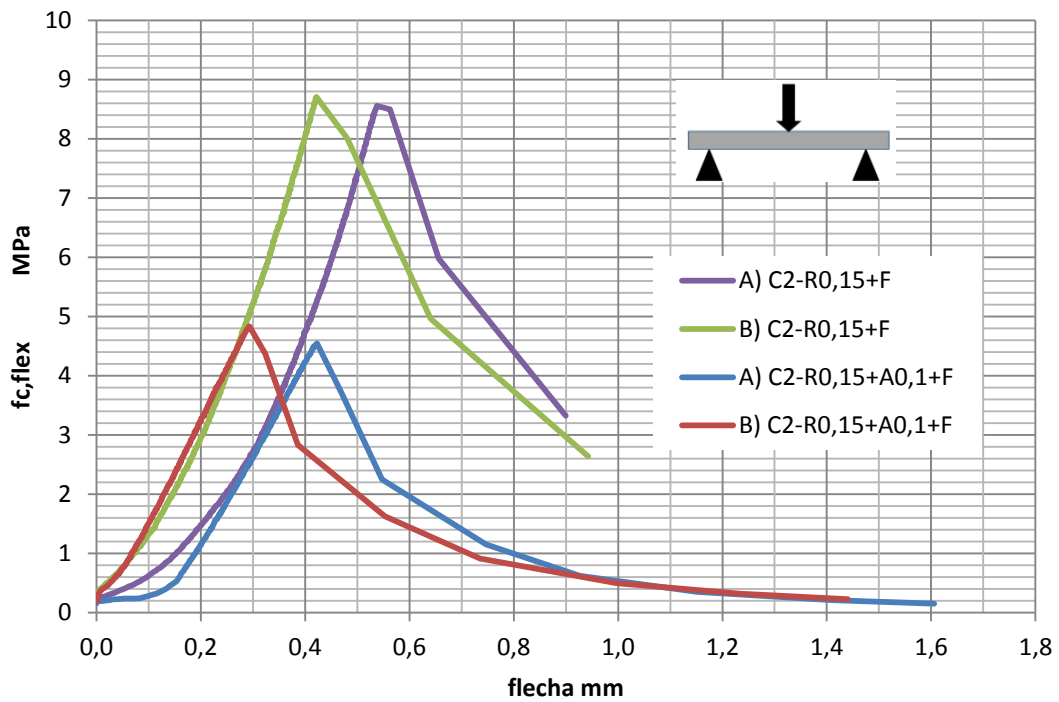


Figura 6.57. Comparativa flexotracción a 28 días

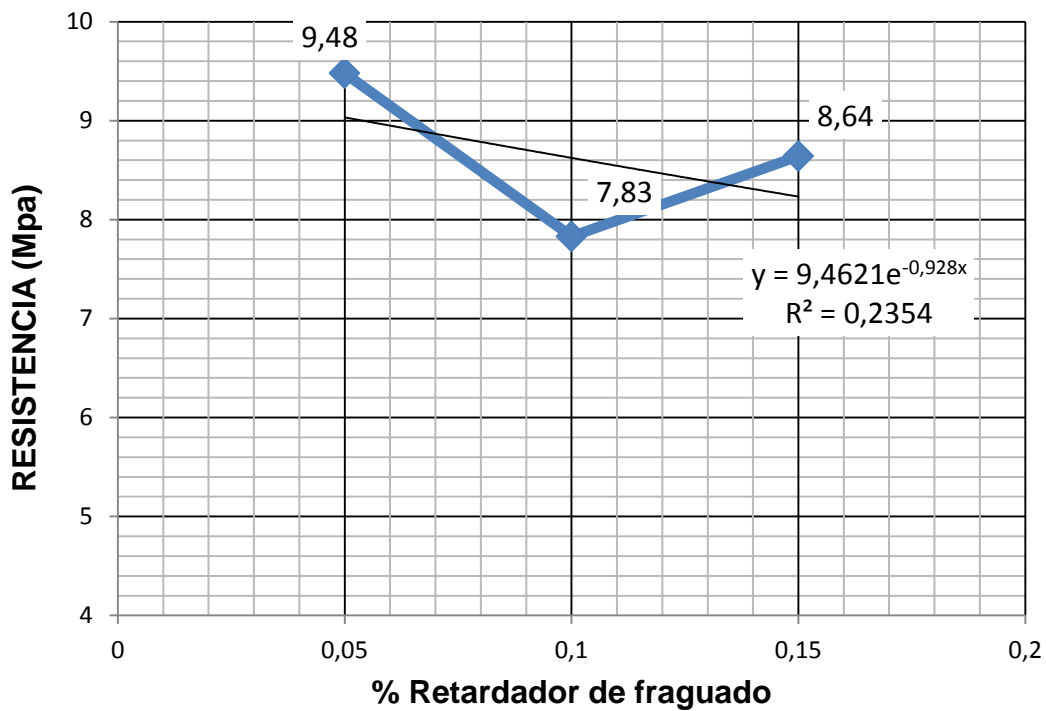


Figura 6.58. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + F. C2+F.

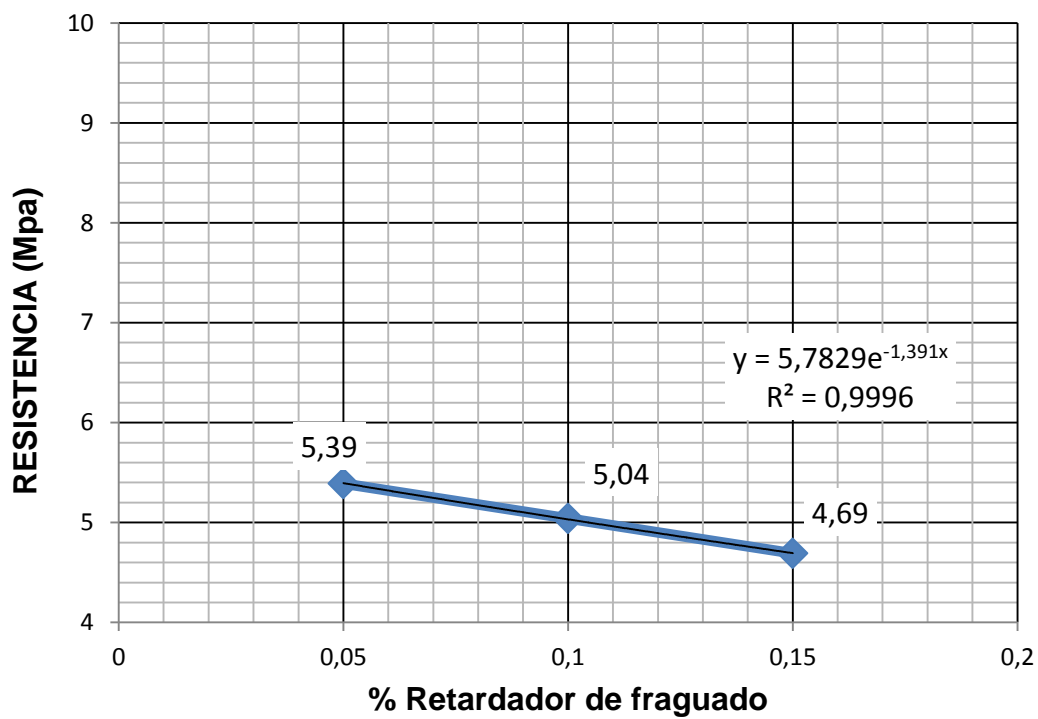


Figura 6.59. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1% + F. C2+A0,1+F.

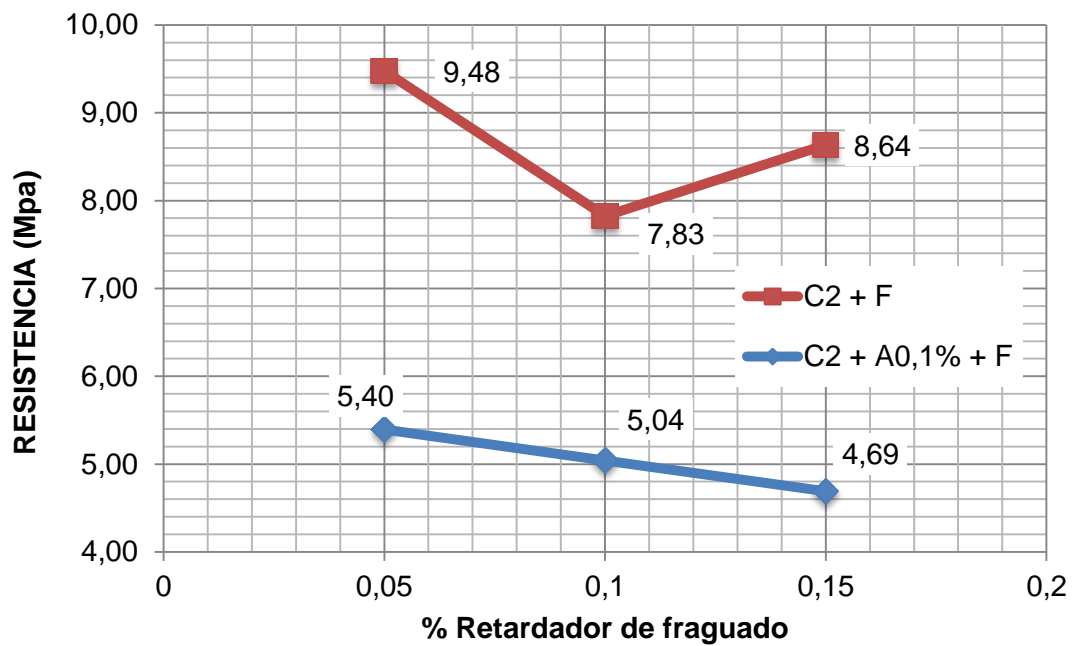


Figura 6.60.Comparativa relación a/c 0,78 + SP 1,5% + F. C2+F.

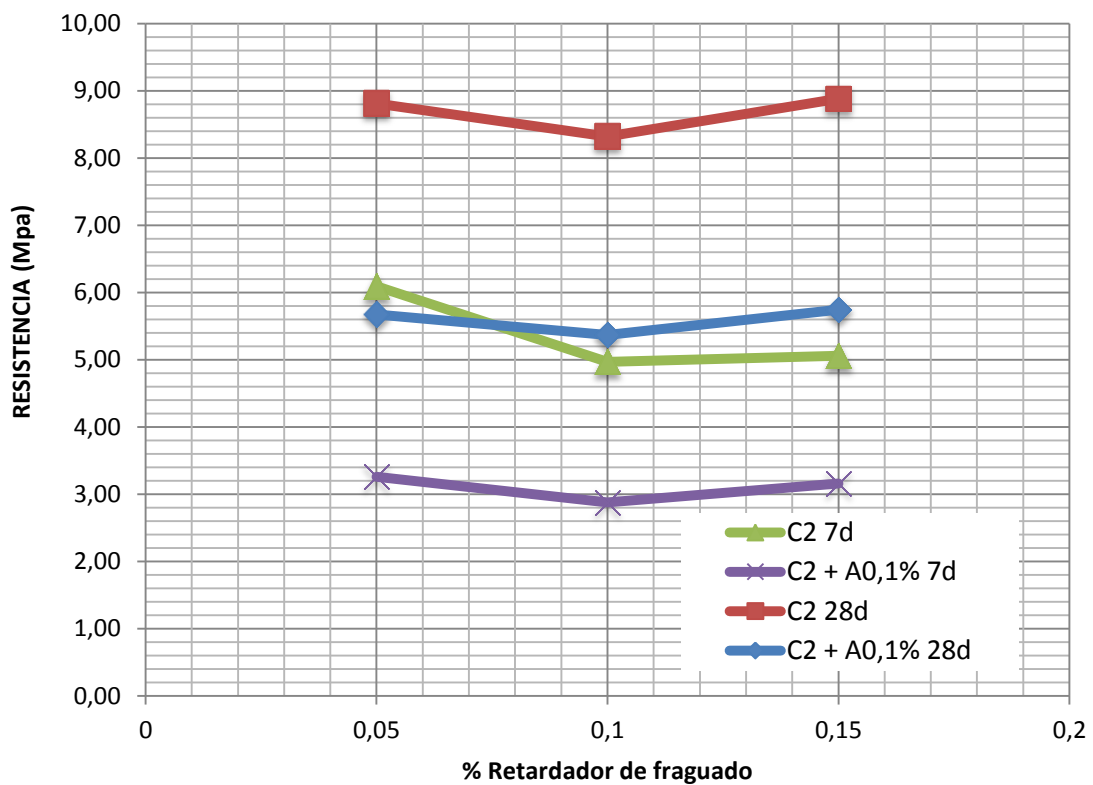


Figura 6.61.Comparativa flexotracción 7 y 28 días

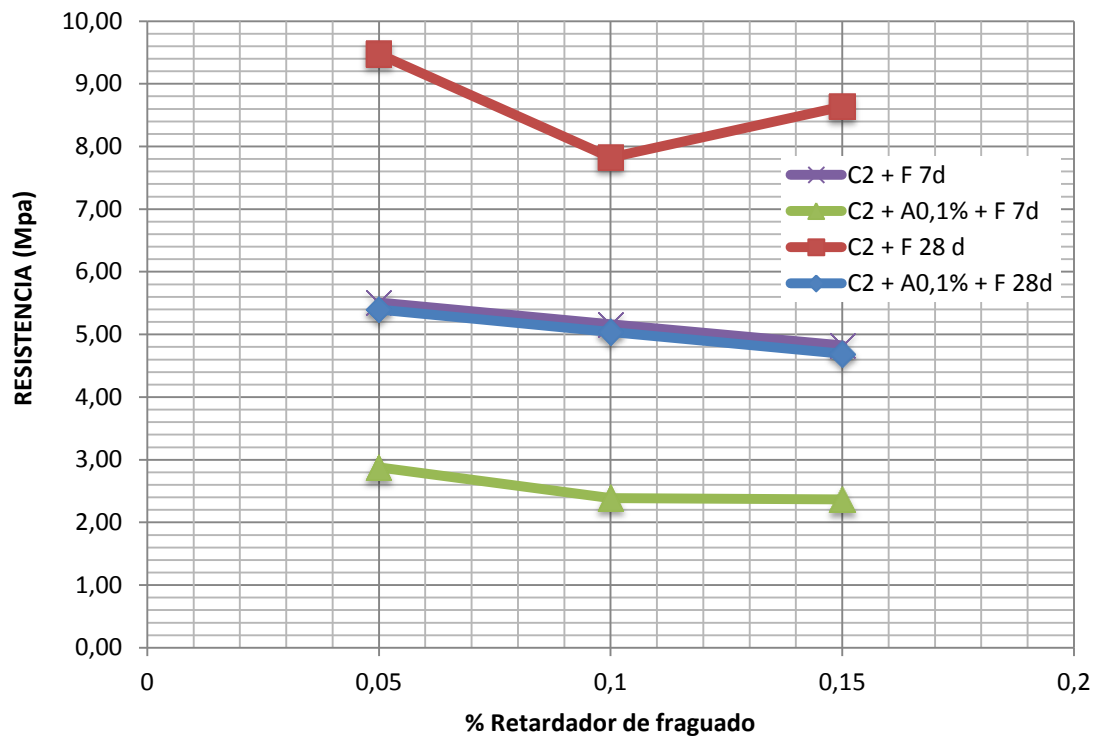


Figura 6.61. Comparativa flexotracción 7 y 28 días

De las representaciones gráficas de los resultados obtenidos se deduce que, tanto a los 7 días como a los 28 días, la adición de un aireante reduce la resistencia a flexotracción de los morteros. La adición de fibras no nos da resultados significativos para poder decir que varíen esta resistencia.

También resulta interesante que la resistencia a flexotracción de un mortero sin aireante a 7 días es prácticamente igual que un mortero con aireante a 28 días.

6.4.2. Ensayo de compresión

6.4.2.1. Compresión 7 días

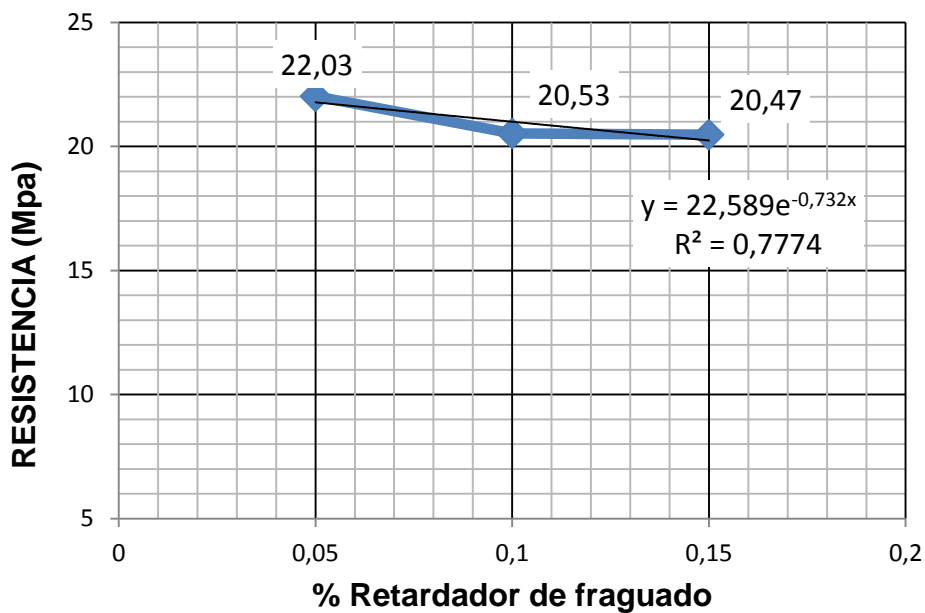


Figura 6.62. Relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2.

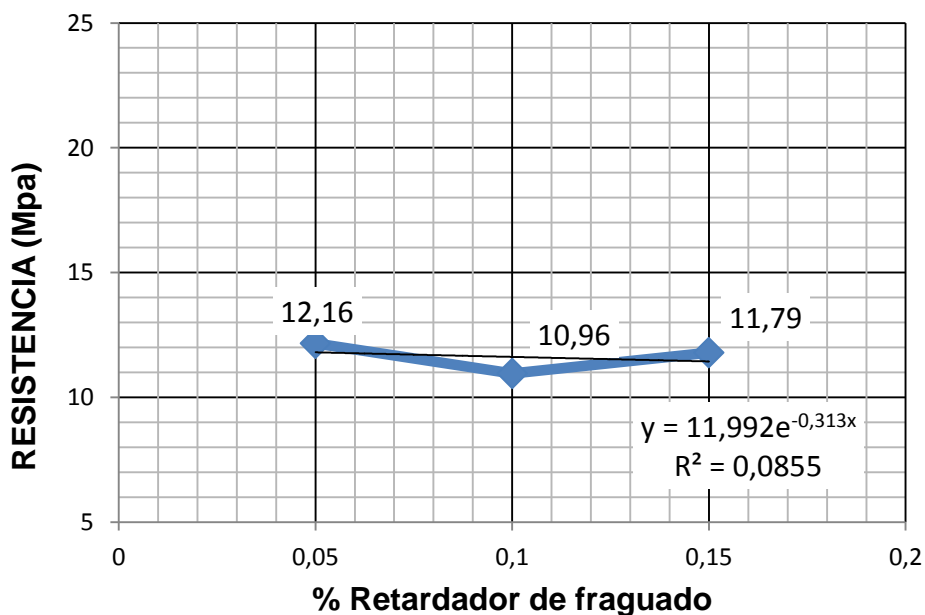


Figura 6.63. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1%. C2+A0,1.

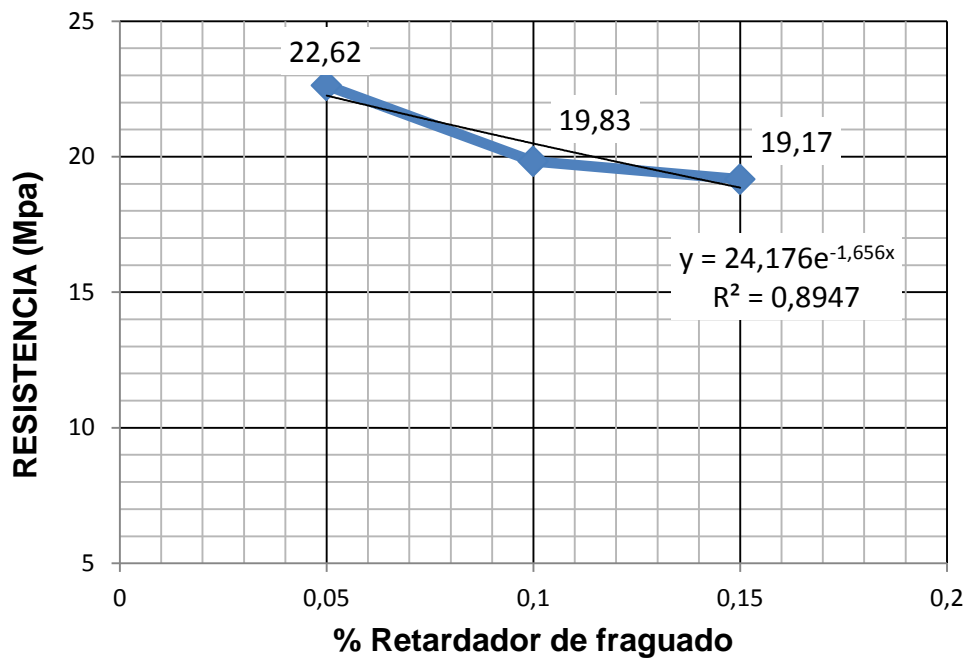


Figura 6.64. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + F. C2+F.

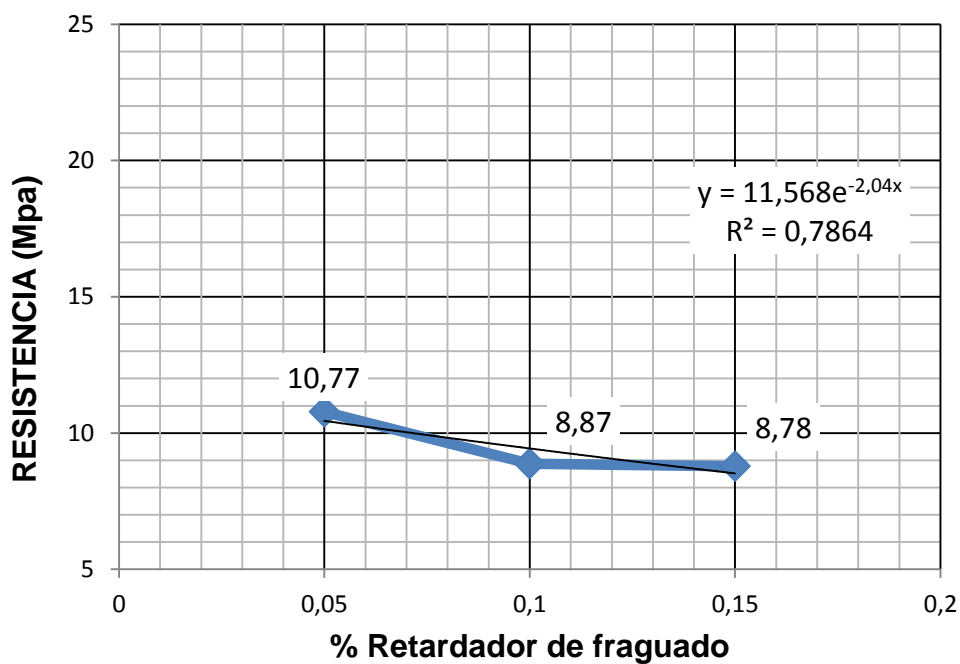


Figura 6.65. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1% + F. C2+A0,1+F.

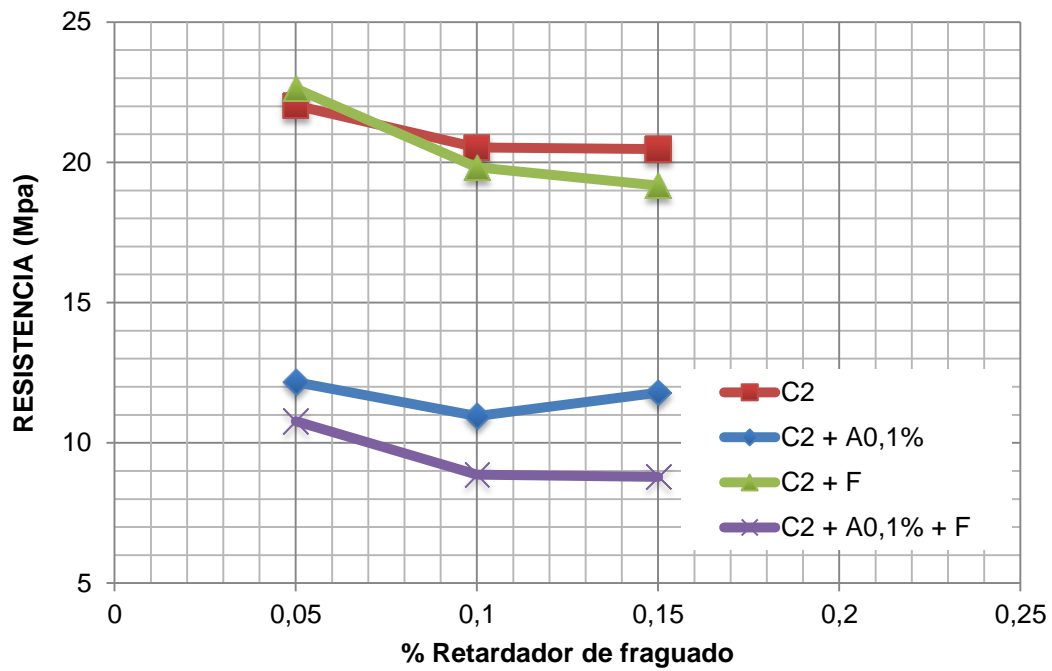


Figura 6.66. Comparativa compresión 7 días

6.4.2.2. Compresión 28 días

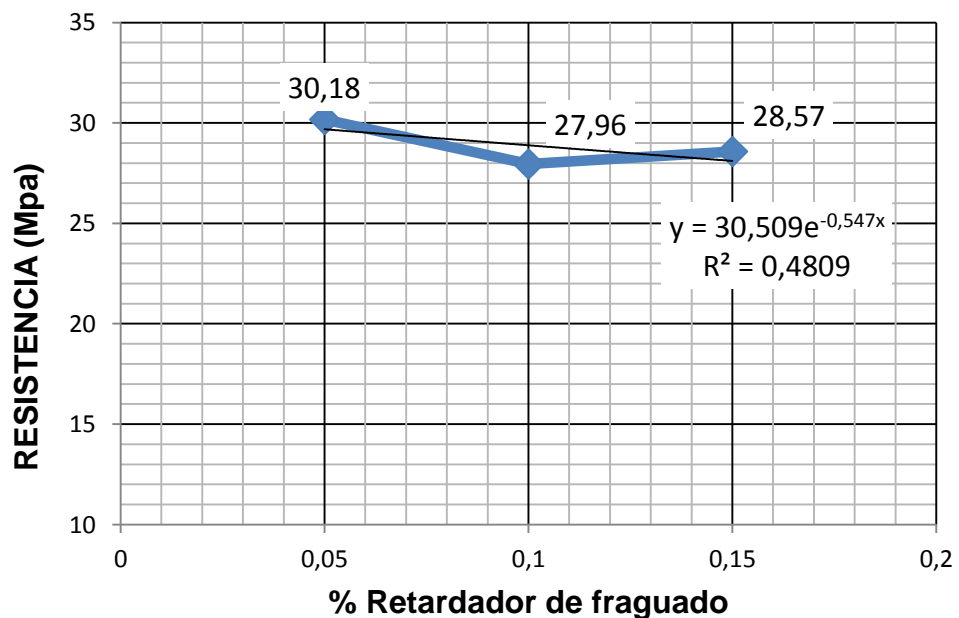


Figura 6.67. Relación a/c 0,78 + SP 1,5%. C2.

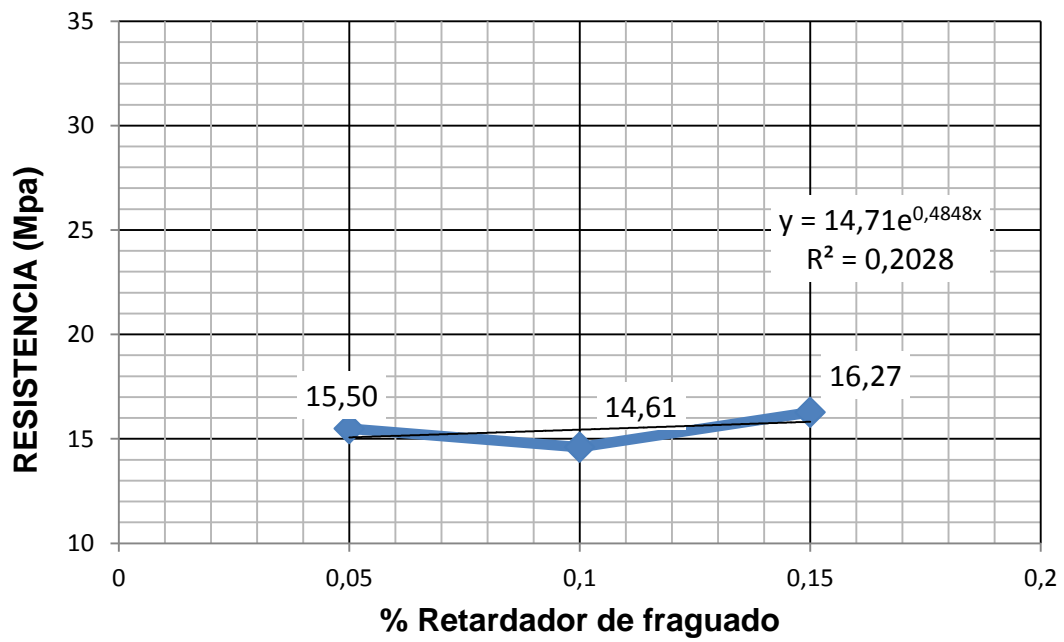


Figura 6.68. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1%. C2+A0,1.

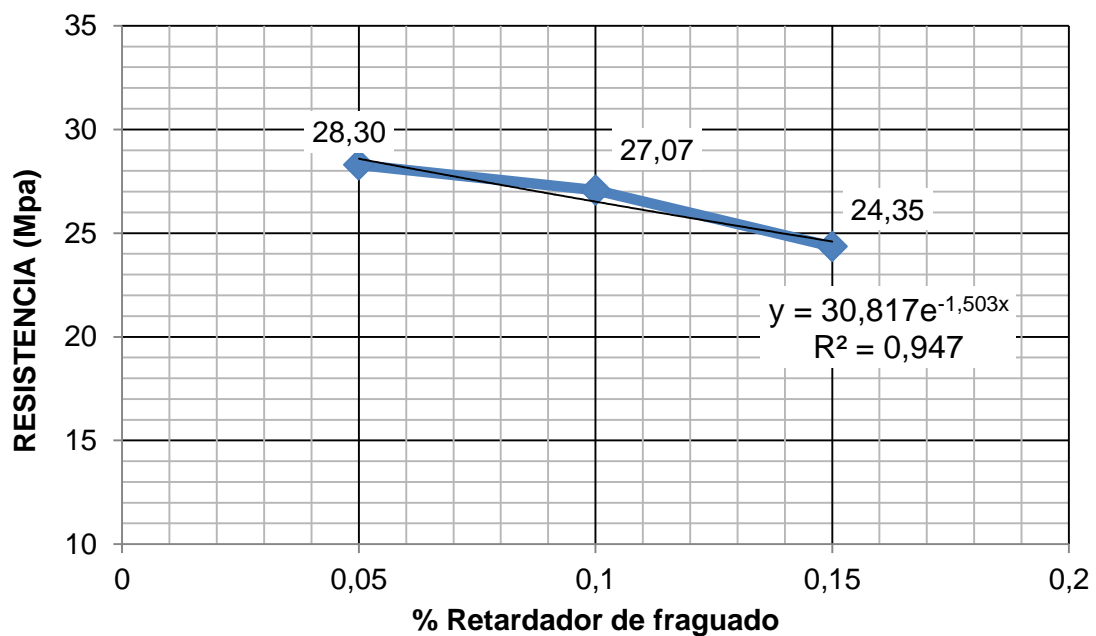


Figura 6.69. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% +F. C2+F.

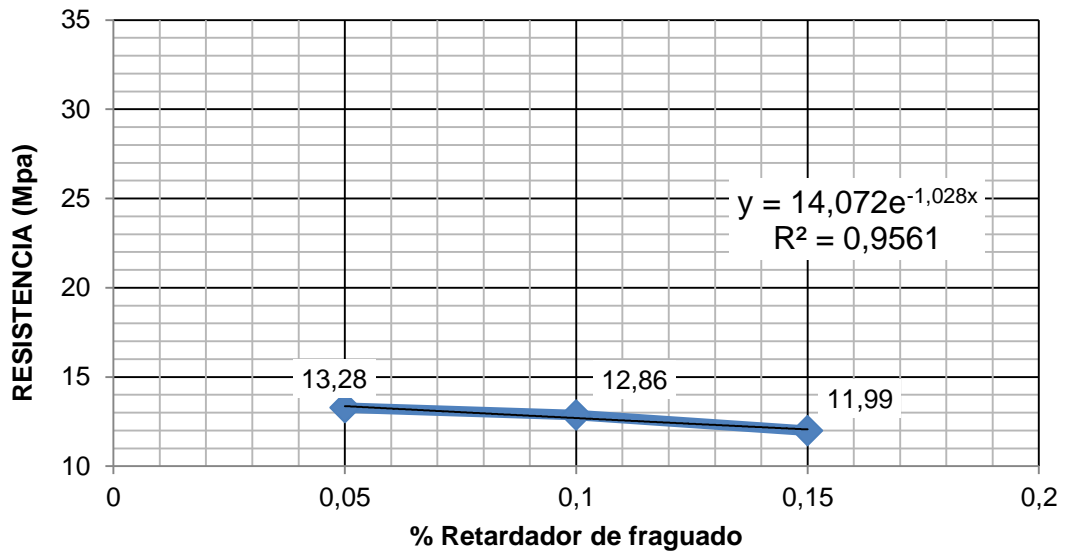


Figura 6.70. Relación a/c 0,78 + SP 1,5% + A0,1% + F. C2+A0,1+F.

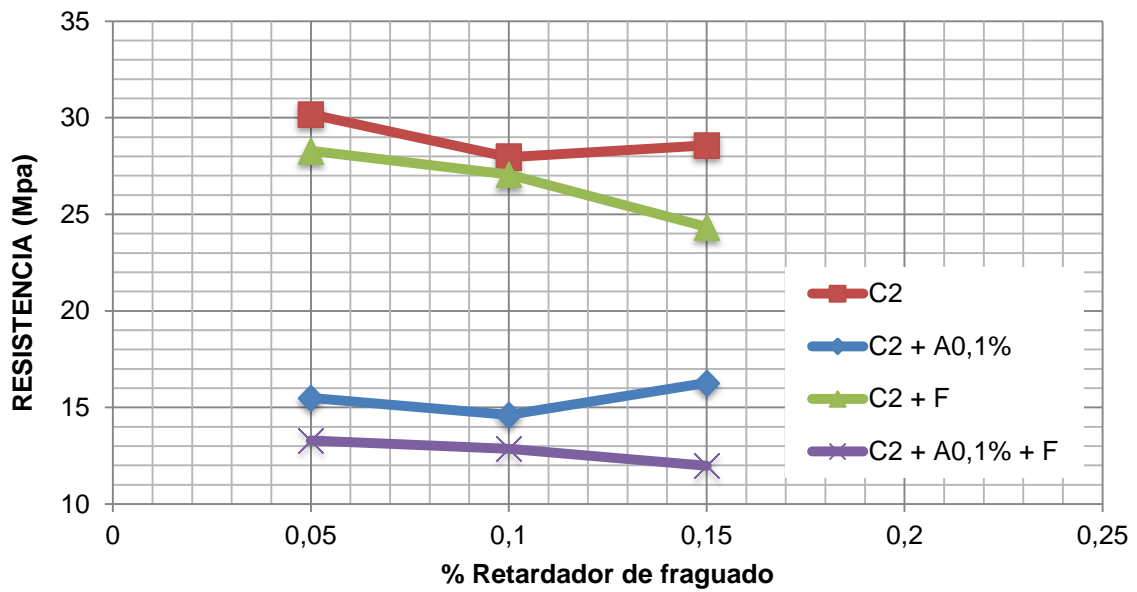


Figura 6.71. Comparativa compresión 28 días

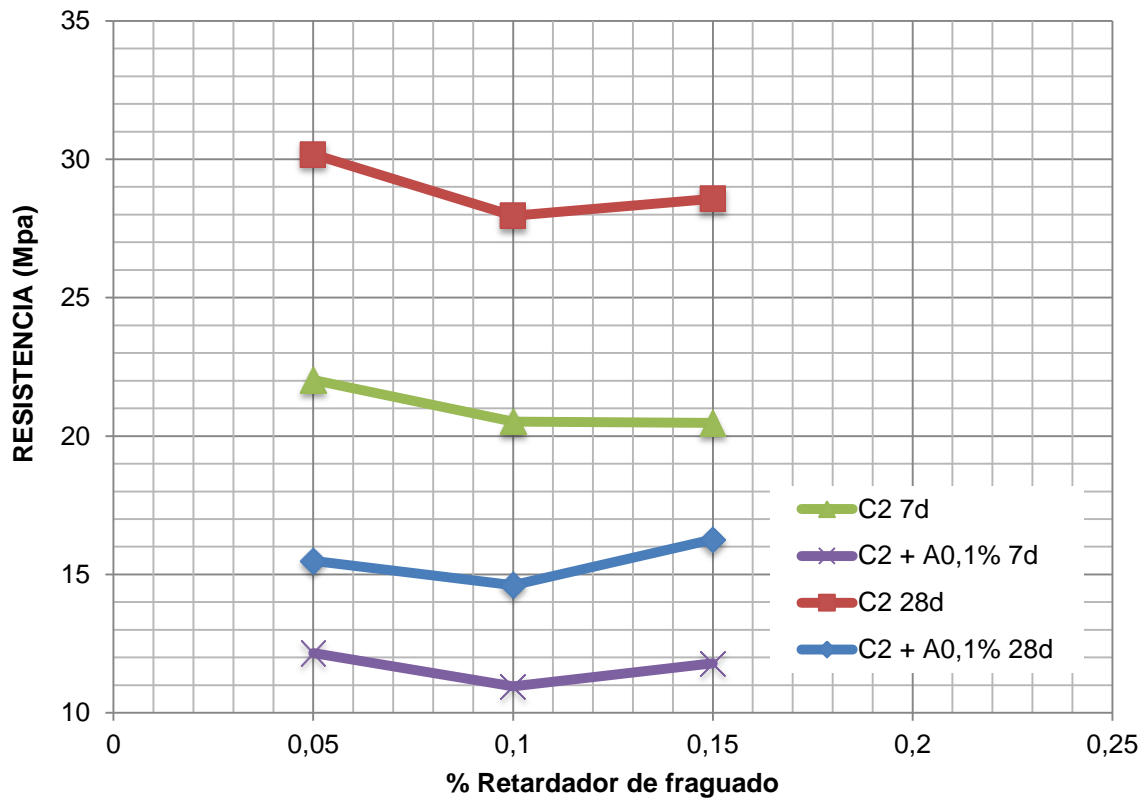


Figura 6.72.Comparativa compresión 7 y 28 días

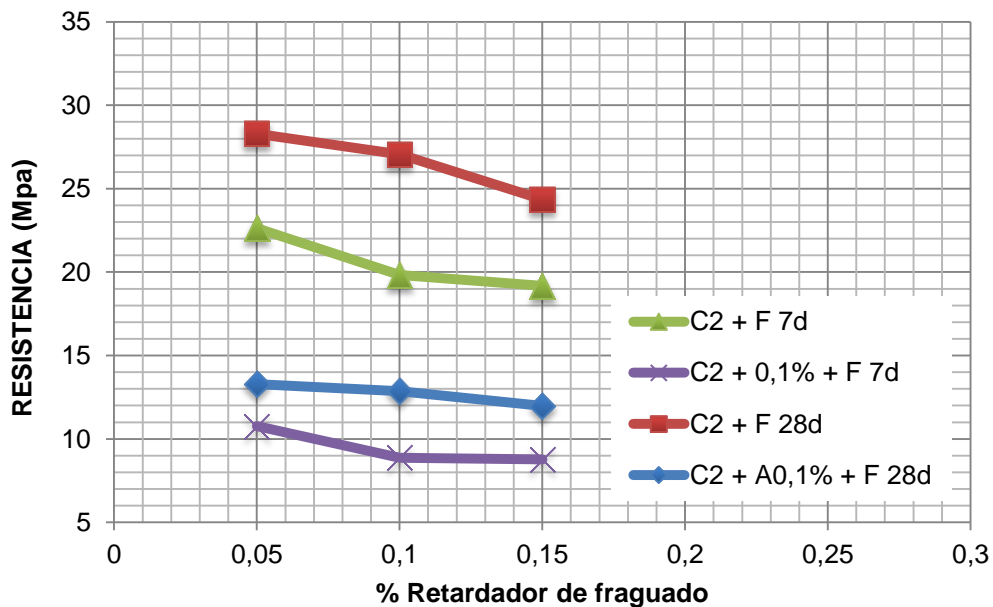


Figura 6.73.Comparativa compresión 7 y 28 días

Estudiando los gráficos obtenidos se puede ver como al añadir fibras la resistencia a compresión, a 7 días y a 28 días de los morteros disminuye ligeramente, lo mismo ocurre al añadir un aditivo retardador de fraguado. Por el contrario cuando se utiliza un aireante esta resistencia disminuye considerablemente.

Comprobamos que a 7 días el mortero ya ha alcanzado un 70 % de la resistencia a compresión que llega a alcanzar a los 28 días. Dato que nos indica que el retardador de fraguado utilizado solo actúa en tiempos tempranos, pasado su efecto eleva rápidamente la resistencia a compresión.

Al añadir aditivo retardador de fraguado la resistencia a compresión no varía prácticamente. Sin embargo, si añadimos este aditivo y fibras, observamos como a mayor cantidad de aditivo menor resistencia a compresión tienen las probetas.

6.5. Propuesta de tipificación

Debido a la falta de una normativa específica para morteros autonivelantes, a continuación hemos propuesto una posible tipificación de éstos basándonos en la EHE-08 (MFOM) anejo 17 de hormigones autocompactante, la norma UNE-EN 13813:2003 (AENOR) de pastas autonivelantes y la norma UNE-EN 998-2:2010 (AENOR) de morteros de albañilería.

Los hormigones autocompactables se tipifican de acuerdo con el siguiente formato:

T-R/AC/TM/A

Para morteros autonivelantes podemos seguir el mismo esquema con algunas modificaciones:

T-R/AE/TM

T: Indicativo que será MC, M para indicar que es un mortero y C indica la clase de mortero. Si éste va reforzado con fibras sería MCRF

| Clase de mortero | Designación |
|------------------|-------------|
| De yeso | Y |
| De cal | L |
| De cemento | C |
| Magro | M |
| Mixto o bastardo | B |

R: Resistencia a compresión a los 28 días en N/mm², se indicará con diferencias de 5 N/mm².

Aunque en pastas autonivelantes para su designación se especifica la resistencia a compresión y flexotracción, consideramos definir la resistencia a compresión solo al igual que en los morteros de albañilería.

AE: la letra A define que es autonivelante y la E el escurrimiento del mortero en mm. El valor del escurrimiento se indicará cada 5 mm.

TM: tamaño máximo del árido en mm.

No contemplamos la especificación del tipo de ambiente.

En nuestro caso podría ser: **MCRF-20/AE22/4**

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

A continuación se indican las conclusiones más importantes obtenidas en este proyecto final de grado.

1. El aditivo superfluidificante, en el rango utilizado, funciona correctamente, mejorando las prestaciones del mortero en cuanto a su consistencia y tiempo de trabajabilidad.
2. El aditivo inclusor de aire no varía de manera importante la trabajabilidad de los morteros. Pero si que se ha comprobado que su aporte en un mortero aumenta considerablemente la cantidad de aire ocluido.
3. El aporte de fibras multifilamento de polipropileno no influye de manera significativa en la trabajabilidad de los morteros. Por el contrario, en relación al aire ocluido se puede deducir que su aporte influye aumentando más del doble la cantidad de aire en el mortero fresco.
4. La cantidad de finos en la fabricación de un mortero condiciona de manera importante la trabajabilidad del mismo.
5. Consideramos importante el control de recepción en obra, por lo que sería

- interesante adoptar las medidas descritas en el estado del arte utilizadas en Francia.
6. El ensayo indicado para pastas autonivelantes de tiempo de fraguado lo consideramos interesante en el caso del estudio de pastas, no de morteros. Para la realización de morteros creemos más conveniente el estudio del tiempo de trabajabilidad.
 7. El uso de aditivos retardadores de fraguado produce un aumento del periodo de trabajabilidad, de manera que cada 0,05 % de aditivo que se añade aumenta casi un 1% el tiempo.
 8. El aditivo inclusor de aire aumenta también el periodo de trabajabilidad, de manera que añadiendo un 0,1 % de aireante aumenta el tiempo casi un 3 %.
 9. El ensayo de aire ocluido ha demostrado que el aireante Sika ViscoMAC Aer 10 aumenta la cantidad de aire ocluido en los morteros.
 10. Al aditivar con un retardador de fraguado al mortero la cantidad de aire ocluido aumenta casi al doble que uno sin él , pero el aumento de su proporción no condiciona este factor.
 11. Este aditivo retardador de fraguado no varía sensiblemente las resistencias mecánicas de los morteros ni a 7 ni a 28 días.
 12. Al añadir fibras multifilamento de polipropileno los valores de resistencia a compresión de los dos semiprismas de una misma probeta difieren, aunque no son valores significativos. Sin embargo, al añadir un aditivo aireante parece ser que ayuda a la distribución más uniforme de dichas fibras y los valores indicados de los semiprismas de la misma probeta son prácticamente iguales.
 13. La flecha obtenida en las probetas rotas a flexotracción disminuye cuando se utiliza un aditivo inclusor de aire.
 14. Las fibras multifilamento disminuyen en la resistencia a flexotracción sensiblemente, aunque no de manera significativa. En cuanto a la resistencia a compresión no se ve afectada.
 15. El tiempo de amasado influye de manera determinante en la efectividad del aditivo superfluidificante, por lo que los tiempos de amasado en morteros con este aditivo deben ser mayores.
 16. La resistencia a flexotracción de un mortero sin aireante a 7 días es prácticamente igual que la de un mortero con aireante a 28 días.

17. Los morteros estudiados alcanzan ya a los 7 días casi un 70% de la resistencia a compresión a los 28 días.
18. La resistencia a compresión de los morteros con aditivo retardador de fraguado no varía significativamente. Sin embargo, si añadimos este aditivo y fibras a la vez, a mayores cantidades de aditivo retardador de fraguado menores resistencias a compresión tienen los morteros.

CAPÍTULO 8

FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Aunque la aparición de los morteros autonivelantes es relativamente nueva, se están dedicando actualmente a su investigación con la finalidad de alcanzar un mejor conocimiento de ellos; sin embargo todavía existen numerosos temas por investigar y desarrollar con mayor detalle.

Como posibles líneas de investigación futuras destacaremos las siguientes:

- Analizar los métodos de ensayo para el módulo de elasticidad de los morteros autonivelantes.
- Estudiar la influencia en las características estudiadas que proporcionan diferentes cantidades de aditivo inductor de aire.
- Estudiar las variaciones que proporciona el aditivo superfluidificante utilizando este aditivo de distintas casas comerciales.
- Analizar otro caso en los que en vez de utilizar las arenas estudiadas se utilice una mayor cantidad de finos añadiendo arena de granulometría 0/2 y filler.

- Analizar otro caso en el que las arenas estudiadas sean previamente lavadas, sin aporte de finos, aumentando por tanto la cantidad de cemento.
- Estudiar el mismo caso realizado utilizando árido silíceo en lugar de árido calizo.
- Estudiar las características que podrían aportar otros tipos de fibras como son las metálicas.
- Comparar los morteros autonivelantes con base anhidrita y los mismos morteros de base cementosa.
- Analizar comparativamente las especificaciones de las normativas puesto que la norma UNE-EN 13813:2003 solo se refiere a pastas autonivelantes, no habla en ningún caso de morteros.
- Estudiar los valores de las resistencias mecánicas con materiales nacionales.
- Analizar el mercado CE de los morteros autonivelantes ya que AFAM no los contempla.
- Desarrollar un estudio de edificios existentes con soleras radiantes realizadas con mortero autonivelante, y ver su análisis desde el punto de vista energético.
- Realizar los ensayos de la resistencia térmica en morteros que no lleven fibras multifilamento de polipropileno y ver la influencia de las fibras en este aspecto.

CAPÍTULO 9**BIBLIOGRAFÍA**

ACI COMMITTEE 544; 2002. Informe del Estado del Arte en hormigón reforzado con fibras. ACI 544.1R-96. Instituto Americano de Hormigón, Noviembre.

ACI COMMITTEE 544; 2008. Guía para la especificación, dosificación y producción de reforzados con fibra. Hormigón. ACI 544.3R-08. Instituto Americano de Hormigón, Noviembre.

Anon., 2011. *Observatorio de la Sostenibilidad en España OSE*. [En línea]. Available at: <http://193.146.56.6/Observatorio+Sostenibilidad/esp/plataformas/urbana/temas/Edificacion/Dise%C3%B1o+eficiente/Nuevos+materiales/>[Último acceso: Mayo 2013].

Anon., 2011. Fusión de modernidad y funcionalidad en la Haurreskola de Urduliz. *ARTE Y CEMENTO*, Issue 10.

Anon., 2012. *Anhidrita*. [En línea] Available at: <http://www.anhidrita.com/>[Último acceso: Abril 2013].

Arenas Cabello, F. J., 2008. Los materiales de construcción y el medio ambiente. Julio.Volumen 41.

ASTM International (2009): Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.01. Cement, Lime, and Gypsum . West Conshohocken, PA: ASTM International.

Benavides Cerezo, W., 2012. Fibras de Polipropileno para reforzamiento de matrices cementicias. *Universidad Nacional de Colombia*.

Bentz DP (2009): Powder additions to mitigate retardation in high volume fly ash mixtures. ACI Materials Journal (accepted).

Bouzoubaa N, Zhang M-H and Malhotra VM (2001): Mechanical properties and durability of concrete made with high-volume fly ash blended cements using a coarse fly ash. *Cement and Concrete Research* 31: 1393–1402.

Cabrera, O. A.; Bonavetti, V. L.: “Efecto del Polvo de Piedra en Hormigones Estructurales”, Proc. XXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Montevideo, Uruguay, Tomo 4 (1993), pp. 221-232.

Choktaweekarn P, Saengsoy W and Tangfermsirikul S (2009): A model for predicting the specific heat capacity of fly-ash concrete. *ScienceAsia* 35: 178–182.

Demirboga R (2003a): Thermo-mechanical properties of sand and high volume mineral admixtures. *Energy and Buildings* 35: 435–439.

Demirboga R (2003b): Influence of mineral admixtures on thermal conductivity and compressive strength of mortar. *Energy and Buildings* 35: 189–192.

Demirboga R and Gul R (2003): The effects of expanded perlite aggregate, silica fume, and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete. *Cement and Concrete Research* 33: 723–727

De Larrard, F.; Sedran, T.: “Optimization of Ultra-High-Performance Concrete by the Use of a Packing Model”, *Cem. Concr. Res.*, vol. 24, n° 6 (1994), pp. 997-1009. doi:10.1016/0008-8846(94)90022-1

DP Bentz, 2011: Thermal properties of high-volume fly ash mortars and concretes (Propiedades térmicas de los morteros y hormigones de ceniza volante en grandes volúmenes. *Journal of Building Physics (Diario de la Física de la Construcción)*, 34(3), pp. 263-275.

Dura´ n-Herrera A, Valdez P, Jua´ rez CA and Bentz DP (2009): Evaluation of sustainable high-volume fly ash concretes. *Cement and Concrete Composites* (submitted).

Gustafsson SE (1991): Transient plane source techniques for thermal conductivity and thermal diffusivity measurements of solid materials. *Review of Scientific Instruments* 62:797–804.

Machín Terán, B., 2010. *EESAP4*. San Sebastián, s.n.

Mather, B.: “Concrete Aggregates: Shape, Surface Texture and Coatings”, Significance of the Properties of Concrete, ASTM STP169-A, Philadelphia, USA (1966), pp. 415-431.

McCarthy MJ and Dhir RK (2005): Development of high volume fly ash cements for use in concrete construction. *Fuel* 84: 1423–1432.

Mehta PK (2009): Global concrete industry sustainability. *Concrete International* 31: 45–48

O.A. Cabrera, 2010. Fluidez de morteros cementíceos con arenas machacadas. *Materiales de Construcción*, Octubre-Diciembre, 60(300), pp. 115-130.

Olga Burgos-Montes, 2012. Comportamiento reológico de las pastas de cementos con adiciones minerales y aditivos superplastificantes. Efecto de la naturaleza de la adición. *CEMENTO HORMIGÓN*, Mayo-Junio. Issue 950.

Olga Burgos-Montes, 2012. Comportamiento reológico de pastas de cementos con adiciones minerales y aditivos superplastificantes. Efecto de la naturaleza de la adición.. *CEMENTO HORMIGÓN*, Mayo-Junio. Issue 950.

Peña, F. J., 2012. Calefacción por suelo radiante: reducción de costes a través del mortero. *CALEFACCIÓN*, Noviembre-Diciembre.

Rodríguez-Mora, O., 2003. *Asociación de Fabricantes de Mortero AFAM*. [En línea] Available at: www.afam-morteros.com [Último acceso: 2013].

THE ABERDEEN GROUP; 1983. Hormigón reforzado con fibras de polipropileno. Publicación C830468.

NORMAS:

- 1. AENOR “UNE-EN 1015-1:1999/A1:2007”** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 1: Determinación de la distribución granulométrica (por tamizado)
- 2. AENOR “UNE-EN 1015-2:1999/A1:2007”** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería.
- 3. AENOR. “UNE-EN 1015-3:2000/A2:2007”** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).
- 4. AENOR. “UNE-EN 1015-6:1999/A1:2007”** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco.
- 5. AENOR. “UNE-EN 1015-7:1999/A1:2007”** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 7:
- 6. AENOR. “UNE-EN 1015-9:2000/A1:2007”** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 9: Determinación del periodo de trabajabilidad y del tiempo abierto del mortero fresco.
- 7. AENOR. “UNE-EN 1015-10:2000/A1:2007”** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.
- 8. AENOR. “UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007”** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.
- 9. AENOR. “UNE-EN 1015-17:2001/A1:2005”** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 17: Determinación del contenido en cloruros solubles en agua de los morteros frescos.
- 10. AENOR. “UNE-EN 1015-18:2003”** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por cailaridad del mortero endurecido.

11. **AENOR. “UNE-EN 1264-1:2012”** Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 1: Definiciones y símbolos.
12. **AENOR. “UNE-EN 1264-4:2010”** Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 4: Instalación.
13. **AENOR. “UNE-EN 12664:2002”** Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor del flujo de calor. Productos secos y húmedos de baja y media resistencia térmica.
14. **AENOR. “UNE-EN 13139/AC:2004”** Áridos para morteros.
15. **AENOR. “UNE-EN 13318:2001”** Materiales para revestimientos continuos y revestimientos continuos. Definiciones.
16. **AENOR. “UNE-EN 1346:2008”** Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación del tiempo abierto.
17. **AENOR. “UNE-EN 13813:2003”** Pastas autonivelantes y pastas autonivelantes para suelos. Pastas autonivelantes. Características y especificaciones.
18. **AENOR. “UNE-EN 13892-1:2003”** Métodos de ensayo de materiales para soleras continuas. Parte 1: Muestreo, preparación y curado de probetas para ensayo.
19. **AENOR. “UNE-EN 13892-2:2003”** Métodos de ensayo de materiales para soleras continuas. Parte 2: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión.
20. **AENOR. “UNE-EN 14889-2:2008”** Fibras para hormigón. Parte 2: Fibras poliméricas. Definiciones, especificaciones y conformidad.
21. **AENOR. “UNE-EN ISO 178:2011”** Plásticos. Determinación de las propiedades de flexión.
22. **AENOR. “UNE-EN 1946-1:1999”** Prestaciones térmicas de los productos y componentes para edificios. Criterios particulares para la evaluación de los laboratorios que miden las propiedades de transmisión térmica. Parte 1: Criterios comunes.
23. **AENOR. “UNE-EN 1946-2:1999”** Prestaciones térmicas de los productos y componentes para edificios. Criterios particulares para la evaluación de los laboratorios que miden las propiedades de transmisión térmica. Parte 2: Mediciones por el método de placa caliente protegida.
24. **AENOR. “UNE-EN 196-1:2005”** Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.

- 25. AENOR. “UNE-EN 197-1:2000/A1:2005”** Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.
- 26. AENOR. “UNE-EN 480-2:2007”** Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación del tiempo de fraguado.
- 27. AENOR. “UNE-EN 83258:2005”** Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Aditivos para morteros para albañilería. Determinación de la consistencia por medio de la mesa de sacudidas.
- 28. AENOR. “UNE-EN 83259:2005”** Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Aditivos para morteros para albañilería. Determinación del contenido en aire ocluido.
- 29. AENOR. “UNE-EN 933-1:2012”** Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.
- 30. AENOR. “UNE-EN 934-1:2009”** Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 1: Requisitos comunes.
- 31. AENOR. “UNE-EN 934-2:2010+A1:2012”** Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.
- 32. AENOR. “UNE-EN 934-3:2010+A1:2012”** Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 3: Aditivos para morteros para albañilería. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.
- 33. AENOR. “UNE-EN 998-2:2012”** Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería.
- 34. INSTRUCCIÓN PARA LA RECEPCIÓN DE CEMENTOS (RC-08).** Varios Autores. Ed: Catálogo de publicaciones del Ministerio de Fomento Año 2008.
- 35.-INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE-08).** Varios autores. Ed: Catálogo de Publicaciones del Ministerio de Fomento Año 2008.
- 36.-NORMA ASTM C-1252:** “Uncompacted Void Content of Fine Aggregates” (2003).
- 37.-NORMA BS 882:** “Aggregates from Natural Sources for Concrete” (1992).

ANEJOS

ANEJO A

GLOSARIO

Absorción de agua: capacidad de absorción de agua, en porcentaje, de un soporte o una pieza cerámica debido a su porosidad abierta.

Adición: material inorgánico finamente dividido se puede utilizar en la fabricación de morteros con el fin de mejorar o conseguir propiedades específicas.

Aditivo: sustancia o material añadido, antes o durante la mezcla del mortero, en pequeña cantidad que modifica sus características en estado fresco y/o endurecido.

Aditivo controlador de fisuración: aditivo que reduce de manera significativa la retracción del material.

Aditivo inclusor de aire: aditivo que permite aumentar la trabajabilidad, o que permite una reducción del contenido en agua a incorporar, durante el amasado del material, una cantidad controlada de pequeñas burbujas de aire, uniformemente repartidas, que permanecen después del endurecimiento.

Aditivo retardador de fraguado: aditivo que retrasa el comienzo de fraguado del material.

Aditivo superplastificante: aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir fuertemente el contenido de agua de un material, o que, sin modificar el contenido de agua, aumenta considerablemente su fluidez, o que produce ambos efectos a la vez.

Aire ocluido: contenido de aire de un mortero.

Árido: material granular utilizado en la construcción. Los áridos pueden ser naturales, artificiales o reciclados.

Árido fino: material granular que pasa por un tamiz de 4 mm de luz de malla.

Árido grueso: material granular que queda retenido por un tamiz de 4 mm de luz de malla.

Autonivelante: capacidad del material para revestimiento continuo en estado fresco para extenderse de forma natural y dar lugar a una superficie plana y horizontal.

Capilaridad: medida de la capacidad de un mortero fraguado para absorber agua.

Cemento: conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava, más árido fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y endurece al reaccionar con el agua.

Conductividad térmica: propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor.

Conglomerante: material utilizado para unir partículas sólidas de tal manera que formen una masa coherente, por ejemplo, cemento o cal para la construcción.

Conglomerante hidráulico: material inorgánico finamente dividido que, amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece en virtud de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad, incluso bajo el agua.

Consistencia: es el grado de fluidez de un mortero en estado fresco. Proporciona una medida de la deformabilidad del mortero fresco cuando se somete a un esfuerzo determinado. Indica la facilidad de puesta en obra o trabajabilidad de un material en estado fresco.

Desencofrante: producto químico empleado para evitar que el mortero quede adherido al retirar el encofrado.

Dosificación: es la proporción en volumen o en peso de los distintos materiales integrantes del mortero (aglomerante/árido), y dependerá de la finalidad del mismo, de su composición y de la resistencia mínima deseada.

Exudación: es el flujo autógeno de agua de amasado dentro del mortero fresco, o la emergencia de este agua. Es provocada por la sedimentación de los materiales sólidos dentro de la masa. El agua de mezclado tiende a subir, a medida que las partículas sólidas más pesadas del agregado y del cemento se asientan a través de ella.

Fibras poliméricas: aquellos elementos rectos o deformados de material extruido, orientado y cortado, apropiados para su mezcla homogénea.

Finos: fracción granulométrica de un árido que pasa por el tamiz de 0,063 mm.

Fisuración: red de fisuras finas de trazado irregular formada sobre la superficie de un revestimiento continuo.

Fracción granulométrica: fracción de un árido que pasa a través del tamiz mayor de dos tamices y es retenida por el tamiz menor.

Fraguado: proceso químico que genera la pérdida de consistencia de un conglomerante.

Granulometría: distribución de los tamaños del árido, expresada como porcentajes en masa, que pasa por un conjunto especificado de tamices.

Intervalo de dosificación recomendado: intervalo de dosificaciones, expresado en % de la masa de cemento, que el fabricante recomienda para su producto, basado en la experiencia adquirida en obra.

Masa constante: masa determinada tras pesadas sucesivas realizadas a intervalos y que no difieren entre sí en más del 0,1 %.

Material para revestimiento continuo (mortero): mezcla de ligante, áridos y eventualmente líquido para permitir el fraguado del ligante, y en ocasiones aditivos y/o adiciones.

Mortero: mezcla de conglomerante inorgánico -yeso, cal, cemento,...- árido y agua, a veces, con ciertas sustancias orgánicas y/o inorgánicas, que mejoren sus propiedades. Los componentes de dicho mortero deben estar en tales proporciones que permitan que la mezcla sea trabajable cuando está fresca y con propiedades físico-mecánicas aceptables.

Mortero industrial: aquel que se dosifica, mezcla y, en su caso, se amasa con agua en una fábrica y se suministra al lugar de utilización.

Mortero fresco: mortero completamente amasado y listo para su empleo.

Mortero para albañilería: mezcla compuesta de uno o varios conglomerantes inorgánicos, áridos, agua y, a veces, adiciones y/o aditivos para colocar, unir o rejuntar piezas de albañilería.

Periodo de trabajabilidad: es el tiempo durante el cual un mortero posee la suficiente trabajabilidad para ser utilizado sin necesidad de adicionar posteriormente de agua con el fin de contrarrestar los efectos del endurecimiento por el principio de fraguado.

Relación agua/ligante: relación existente entre los contenidos de agua y de ligante en una mezcla.

Resistencias mecánicas: es la capacidad del material en estado endurecido de resistir las fuerzas aplicadas sin romperse.

Resistencia a compresión: valor de la carga máxima uniformemente repartida, aplicada hasta la rotura, sobre probetas de mortero.

Retracción: es la contracción experimentada por el mortero, por variación en la temperatura de su masa durante el endurecimiento.

Revestimiento calefactado: revestimiento continuo que forma parte de un sistema de calefacción bajo el suelo.

Revestimiento continuo: capa (o capas) de material para revestimiento continuo puesta(s) en obra *in situ*, directamente sobre la base, adherida(s) o no adherida(s), o sobre una capa intermedia o una capa aislante, con el fin de conseguir uno o más de los objetivos siguientes:

- alcanzar un nivel determinado
- recibir el revestimiento final del suelo
- servir como suelo final

Revestimiento de suelo: capa superior de un suelo utilizada como capa de uso y de acabado.

Revestimiento con base de cemento: revestimiento continuo en el que el ligante es un cemento.

Revestimiento *in situ*: revestimiento continuo realizado a partir de materiales mezclados en obra o suministrados listos para su empleo, tanto en estado seco como con el agua ya añadida.

Segregación: es la separación de sus componentes una vez amasado provocando que la mezcla de mortero fresco presente una distribución de sus partículas no uniforme.

Tamaño del árido: descripción del árido, expresado en función de los tamaños de los tamices inferior (d) y superior (D).

Tamiz: malla metálica de diferentes aberturas empleada para selección de áridos, arena y gravas según su granulometría a fin de agregar los mismos a la mezcla para la preparación de morteros.

Tiempo abierto: intervalo máximo de tiempo en el que puede efectuarse el acabado de un mortero, desde que se aplicó.

Trabajabilidad: facilidad de manejo de una mezcla de mortero para colocarla en su forma final.

ANEJO B

ESTUDIO DE LOS COMPONENTES

B.1.- CEMENTO



FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO

- Cemento Pórtland Compuesto UNE-EN 197-1 de alta resistencia inicial.
- Certificado de Conformidad CE nº 0370- CPD- 1127, concedido por APPLUS.
- Certificado de Marca de Producto nº PR-1252/009, concedido por APPLUS.
- Cemento expedido a granel y en saco.

COMPOSICIÓN

La norma UNE-EN 197-1 indica que los componentes principales y minoritarios de este cemento, así como sus proporciones en masa, serán los siguientes:

| Componentes | Proporción en masa (%) ⁽¹⁾ |
|---|---------------------------------------|
| Clinker | 65-79 |
| Caliza + Escoria de horno alto | 21-35 |
| Componentes minoritarios ⁽²⁾ | 0-5 |

1. Los valores se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo del cemento).
2. Materiales minerales naturales, materiales minerales derivados de fabricación de clinker u otros componentes principales que no figuren en su composición.

EXIGENCIAS FÍSICAS Y MECÁNICAS

Las exigencias físicas y mecánicas especificadas por la norma UNE-EN 197-1 son:

| Resistencia a compresión (MPa) | | Tiempo de principio de fraguado (min.) | Estabilidad (expansión) (mm) |
|--------------------------------|------------------|--|------------------------------|
| Inicial (2 días) | Normal (28 días) | | |
| ≥ 20,0 | ≥ 42,5 ≤ 62,5 | ≥ 60 | ≤ 10 |

EXIGENCIAS QUÍMICAS

Respecto de las características químicas que debe reunir este cemento, en la norma UNE-EN 197-1 se especifican las siguientes

| Propiedad | Exigencia ⁽¹⁾ |
|-----------------------------|--------------------------|
| Pérdida por calcinación | Sin limitación |
| Residuo insoluble | Sin limitación |
| Sulfato (SO ₃) | ≤ 4.0% |
| Cloruros (Cl ⁻) | ≤ 0,10% |

(1) En porcentaje en masa del cemento final.

APLICACIONES

Como regla general, este cemento está indicado para:

- Hormigón en masa y armado (incluso en grandes volúmenes).
- Hormigón compactado con rodillos.
- Pavimentos de hormigón para firmes de carreteras.
- Hormigón proyectado y hormigón bombeado.

Este cemento **no puede ser empleado** en hormigones pretensados (artículo 26º de la instrucción EHE-08).

Los ambientes (clases de exposición) para el uso de este cemento son: I y II.

Se puede obtener mayor información sobre las aplicaciones y usos de este cemento en el anejo 4 de la Instrucción EHE-08, en la Instrucción RC-08 y en la Norma UNE 80300:2000 IN.

ALMACENAMIENTO

El cemento debe ser almacenado en condiciones que lo aislen de la humedad y evitando su contaminación con otros cementos de cualquier tipo, incluso de igual categoría resistente.

El período de almacenamiento recomendado es de 4 meses. Tras almacenamientos mas prolongados, y previo a su uso, se recomienda comprobar que las características siguen siendo las adecuadas para su empleo (fraguados y resistencia).

Rev.1




| | | | | | | | |
|---|---|---|--------------------|---|---|---------------|-----------|
|  | | CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO SUMINISTRADO | | |  | | |
| CERTIFICADO DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS | | | | | | | |
| EMPRESA: | CEMENTVAL MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, S.L. | | | FÁBRICA: | SAGUNTO | | |
| DESIGNACIÓN CEMENTO: | CEM II/B-M (S-L) 42,5 R | | | CONTRASEÑA CONFORMIDAD: | 0370-CPD-1127 | | |
| | | | | Nº CERTIFICADO MARCA DE PRODUCTO: | PR-1252/009 | | |
| | | | | MES: | ABRIL | AÑO: | 2013 |
| CEMENTO PORTLAND COMPUESTO | | | | | | | |
| RESULTADOS | | | | | | | |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS | Mínimo | Máximo | Media | ESPECIFICACIONES NORMA UNE-EN 197-1:2011 | | | |
| CLORUROS (%) | 0,03 | 0,03 | 0,03 | ≤ 0,10 % | | | |
| SULFATOS (%) | 2,88 | 3,27 | 3,08 | ≤ 4,0 % | | | |
| Contenido en Cromo (VI) soluble (%) (*) | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | ≤ 0,0002 % | | | |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS | Mínimo | Máximo | Media | ESPECIFICACIONES NORMA UNE-EN 197-1:2011 | | | |
| PRINCIPIO DE FRAGUADO (min.) | 160 | 180 | 170 | ≥ 60 min. | | | |
| FINAL DE FRAGUADO (min.) | 205 | 230 | 220 | ≤ 12 h. | | | |
| EXPANSIÓN (mm) | 0,0 | 0,5 | 0,0 | ≤ 10 mm | | | |
| DENSIDAD REAL (g/cm ³) | 3,02 | 3,03 | 3,03 | | | | |
| Superficie Específica Blaine (cm ² /g) | 4510 | 4720 | 4550 | | | | |
| COMPOSICIÓN SOBRE EL NÚCLEO DEL CEMENTO (%) | CLINKER (K) | CALIZA (L) | ESCORIA (S) | COMPONENTE MINORITARIO (CM) | ESPECIFICACIONES NORMA UNE-EN 197-1:2011 | | |
| | 73,0 | 12,0 | 15,0 | 0,0 | K: 65-79 % | L +S: 21-35 % | CM: 0-5 % |
| CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS | Mínimo | Máximo | Media | ESPECIFICACIONES NORMA UNE-EN 197-1:2011 | | | |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa) | | | | | | | |
| 2 DÍAS | 27,1 | 29,3 | 28,0 | ≥ 20 MPa | | | |
| 7 DÍAS | 42,5 | 44,8 | 43,6 | | | | |
| 28 DÍAS | 53,2 | 55,7 | 54,4 | 42,5 (MPa) ≤ Resistencia ≤ 62,5 (MPa) | | | |
| (*) Contenido en Cromo (VI) soluble (%), al final del período de eficacia declarado de dos meses. | | | | | | | |
| Fecha: | 3 de Junio de 2013 | | | | | | |
| |  | | | | | | |
| Firmado: | Javier Pedrola - Director de Producto. | | | | | | |
| El cemento suministrado cumple con las especificaciones correspondientes a las normas de aplicación y de la actual Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08). | | | | | | | |
| Este informe no podrá ser copiado ni reproducido sin la autorización expresa de CEMENTVAL MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, S.L. | | | | | | | |

Figura B.1. Ficha técnica del cemento

B.2.- ÁRIDOS

B.2.1.- Granulometría de las arenas

El procedimiento para determinar la granulometría de las partículas lo dicta la norma UNE-EN 933-1:2012 (AENOR) y se describe a continuación. Para su estudio, primeramente, se recoge una muestra de cada una de ellas y se seca en el horno indicado en la figura B.2. a una temperatura de 100°C hasta masa constante.

A continuación se cuartean las dos muestras hasta obtener el tamaño adecuado. El tamaño mínimo de las muestras de ensayo para el tamaño de árido $D \leq 4$ mm es de 0,2 kg (200 gramos).

El cuarteador, que se muestra en la figura B.3., debe contar con un número de conductos no menor a 12 del mismo ancho y que descarguen alternativamente a ambos lados. El ancho mínimo para los conductos individuales debe ser mayor en aproximadamente un 50% del tamaño máximo de las partículas de la muestra a cuartear.

Para realizar el cuarteo, se coloca la muestra en el depósito de alimentación y se distribuye uniformemente, para que el material fluya en cantidades aproximadamente iguales a través de cada conducto, quedando de esta forma la muestra dividida en dos porciones que se depositan en los recipientes laterales como se puede apreciar en la figura B.4.

Si la cantidad de material obtenida en uno de los depósitos, es mayor que la que se requiere para la prueba, se vuelve a introducir el material cuantas veces sea necesario para reducir la muestra hasta la cantidad que se quiera conseguir. Se pesa su masa y se registra (peso seco: M1), como en la figura B.5.



Figura B.2. Horno



Figura B.3. Cuarteador



Figura B.4. Cuarteo de los áridos.

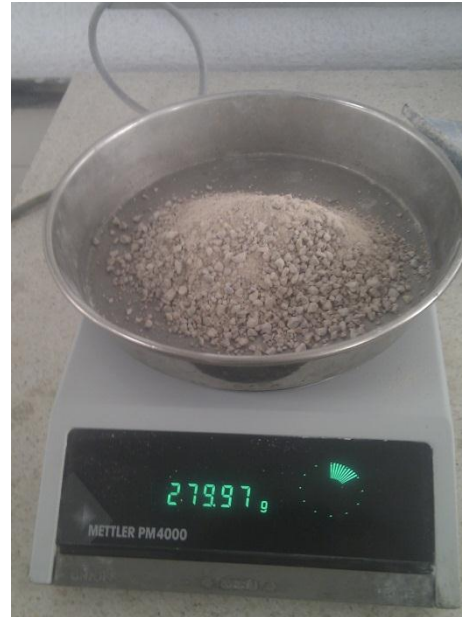


Figura B.5. Peso muestra seca (M1)

Para el lavado, se coloca la muestra en un recipiente y se añade agua suficiente hasta cubrirla como en la figura B.6. Se agita con fuerza suficiente para obtener la completa separación y suspensión de finos. Se mojan ambos lados de un tamiz de 0,063 mm y se lava la muestra según la figura B.7. hasta que el agua que fluya por dicho tamiz sea clara. Seguidamente se retira el agua sobrante por absorción de la misma como en la figura B.8.

Se secan en horno a una temperatura de 100°C hasta masa constante, se deja enfriar, se pesa y se registra su masa (peso lavado y seco: M2).

Por último se vierte la muestra seca en los distintos tamices como se muestra en la figura B.9. en orden decreciente de tamaños de abertura. Se agita cada tamiz asegurando que no se pierda ningún material y se pesa el material retenido y se registra la masa.

A pesar de que los finos incorporan plasticidad al mortero, es conveniente controlar su contenido ya que un exceso puede provocar una disminución de las resistencias mecánicas y la aparición de fisuras por retracción. La granulometría idónea de un mortero depende de las exigencias que vayamos a requerir y de su aplicación específica. En las figuras B.10. y B.11. se muestran las granulometrías de las arenas utilizadas.



Figura B.6. Lavado de la muestra



Figura B.7. Tamiz 0,063 mm



Figura B.8. Absorción agua sobrante



Figura B.9. Tamizado



Figura B.10. Granulometría árido 0/4

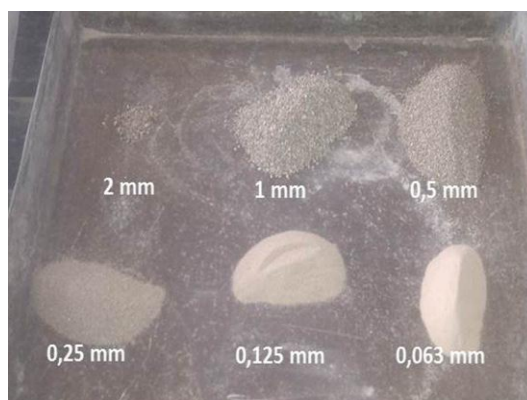


Figura B.11. Granulometría árido 0/2

Granulometría de las partículas**Laboratorio:** materiales**Método del tamizado de la Norma UNE-EN 933-1:2012**

Fecha: 11-03-2013

Identificación de la muestra: Arena 0/2

Método utilizado: lavado y tamizado

Masa seca total $M1 = 290,17$ gMasa seca tras lavado $M2 = 234,4$ gMasa seca de los finos eliminados mediante lavado $M1 - M2 = 55,77$ g

| Tamaño de apertura del tamiz (mm) | Masa de material retenido (g) | % retenido | % retenido acumulado | % que pasa |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------|----------------------|------------|
| 4 | 0 | 0,00 | 0 | 100,00 |
| 2 | 3,2 | 1,37 | 1,37 | 98,63 |
| 1 | 90,6 | 38,65 | 40,02 | 59,98 |
| 0,5 | 58,3 | 24,87 | 64,89 | 35,11 |
| 0,25 | 36,5 | 15,57 | 80,46 | 19,54 |
| 0,125 | 24,8 | 10,58 | 91,04 | 8,96 |
| 0,063 | 21 | 8,96 | 100 | 0 |
| | 234,4 | 100 | | |

Tabla B.12. Granulometría árido 0/2

$$\% \text{ de finos que pasan por el tamiz de } 0,063 \text{ mm, } f = \frac{(M1-M2)+P}{M1} \times 100$$

$$f = \frac{(290,17 - 234,4) + 0}{290,171} \times 100 = 19,22 \%$$

Representación gráfica de los resultados

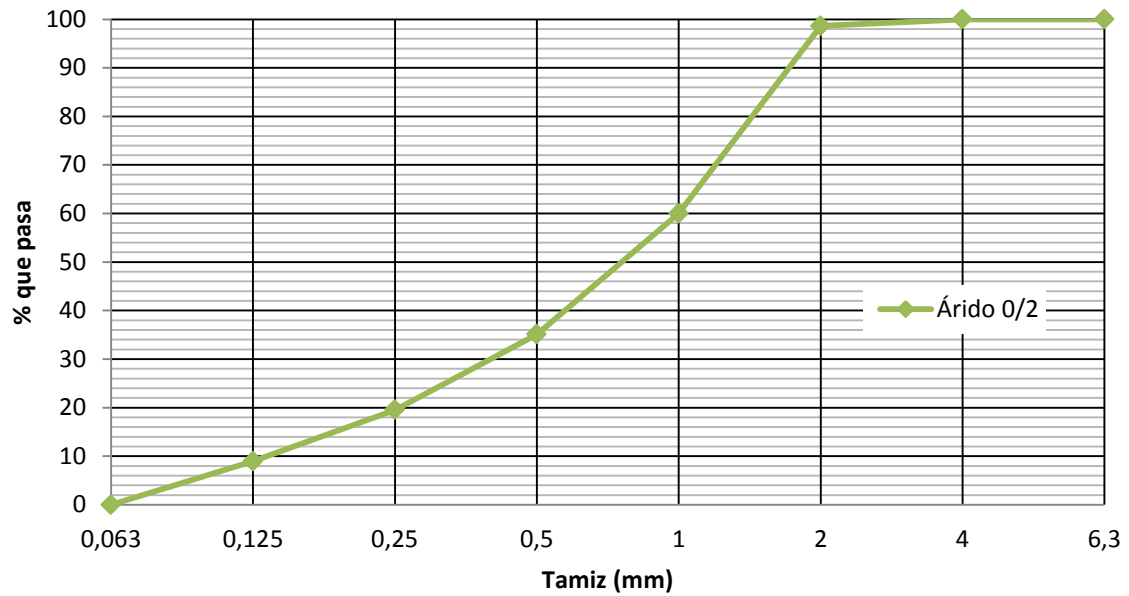


Figura B.13. Granulometría árido 0/2

Granulometría de las partículas**Laboratorio:** materiales**Método del tamizado de la Norma UNE-EN 933-1:2012**

Fecha: 11-03-2013

Identificación de la muestra: Arena 0/4

Método utilizado: lavado y tamizado

Masa seca total $M1 = 279,7$ gMasa seca tras lavado $M2 = 246,9$ gMasa seca de los finos eliminados mediante lavado $M1 - M2 = 32,80$ g

| Tamaño de abertura del tamiz (mm) | Masa de material retenido (g) | % retenido | % retenido acumulado | % que pasa |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------|----------------------|------------|
| 4 | 19,44 | 7,87 | 7,87 | 92,13 |
| 2 | 79,78 | 32,31 | 40,19 | 59,81 |
| 1 | 51,26 | 20,76 | 60,95 | 39,05 |
| 0,5 | 29,25 | 11,85 | 72,79 | 27,21 |
| 0,25 | 23,61 | 9,56 | 82,36 | 17,64 |
| 0,125 | 21,74 | 8,81 | 91,16 | 8,84 |
| 0,063 | 21,82 | 8,84 | 100 | 0 |
| | 246,9 | 100 | | |

Tabla B.14. Granulometría árido 0/4 Fase 1.

$$\% \text{ de finos que pasan por el tamiz de } 0,063 \text{ mm, } f = \frac{(M1-M2)+P}{M1} \times 100$$

$$f = \frac{(279,7 - 246,9) + 0}{279,7} \times 100 = 11,73 \%$$

Representación gráfica de los resultados

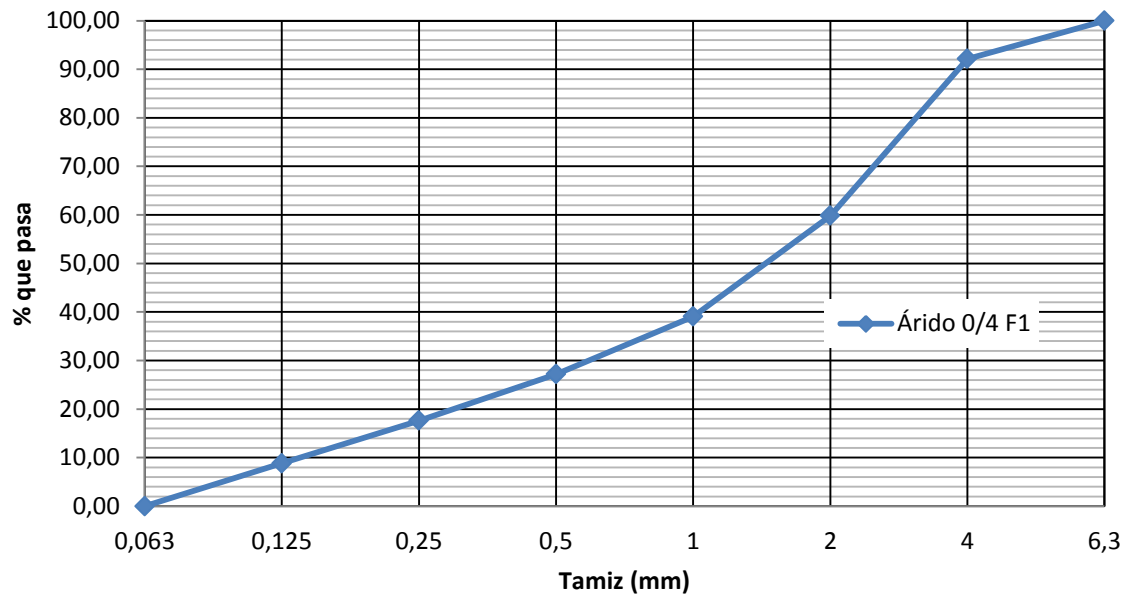


Figura B.15. Granulometría árido 0/4 Fase 1

Granulometría de las partículas**Laboratorio:** materiales**Método del tamizado de la Norma UNE-EN 933-1:2012**

Fecha: 08-05-2013

Identificación de la muestra: Arena 0/4

Método utilizado: lavado y tamizado

Masa seca total $M1 = 516,7$ gMasa seca tras lavado $M2 = 464,6$ gMasa seca de los finos eliminados mediante lavado $M1 - M2 = 52,10$ g

| Tamaño de abertura del tamiz (mm) | Masa de material retenido (g) | % retenido | % retenido acumulado | % que pasa |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------|----------------------|------------|
| 4 | 41,6 | 8,95 | 8,95 | 91,05 |
| 2 | 164,5 | 35,41 | 44,36 | 55,64 |
| 1 | 100,4 | 21,61 | 65,97 | 34,03 |
| 0,5 | 55,3 | 11,90 | 77,87 | 22,13 |
| 0,25 | 40,6 | 8,74 | 86,61 | 13,39 |
| 0,125 | 32,1 | 6,91 | 93,52 | 6,48 |
| 0,063 | 30,1 | 6,48 | 100 | 0 |
| | 464,6 | 100 | | |

Tabla B.16. Granulometría árido 0/4 Fase 2.

% de finos que pasan por el tamiz de 0,063 mm, $f = \frac{(M1-M2)+P}{M1} \times 100$

$$f = \frac{(516,7 - 164,6) + 0}{516,7} \times 100 = 10,08 \%$$

Representación gráfica de los resultados

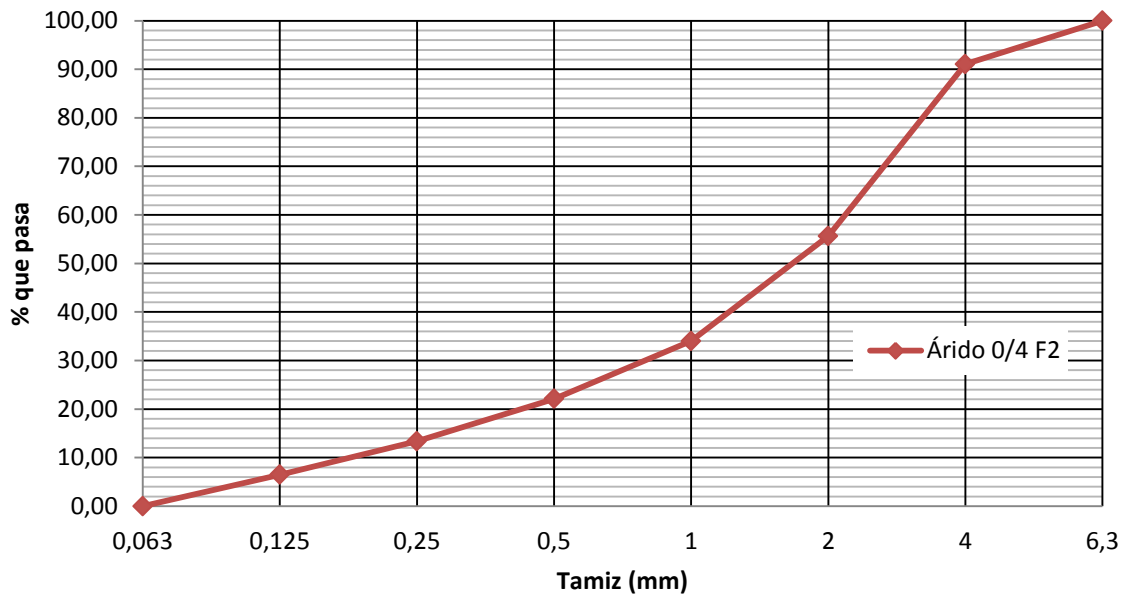


Figura B.17. Granulometría árido 0/4 Fase 2

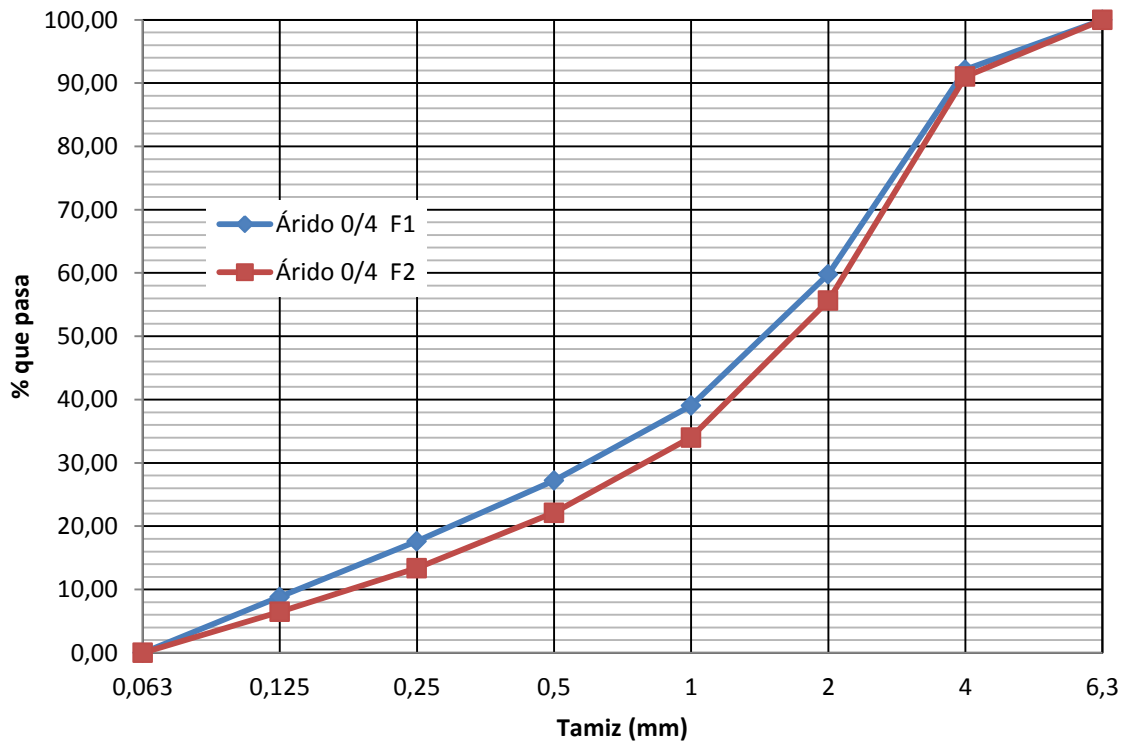


Figura B.18. Granulometría áridos 0/4 Fase 1 y Fase 2

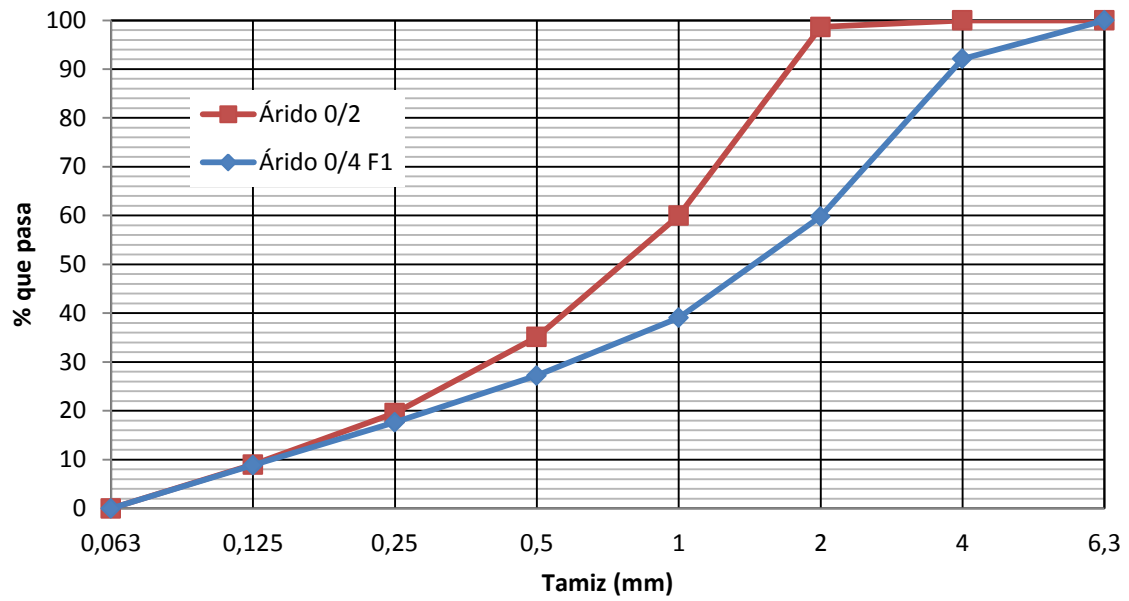


Figura B.19. Granulometría áridos Fase 1

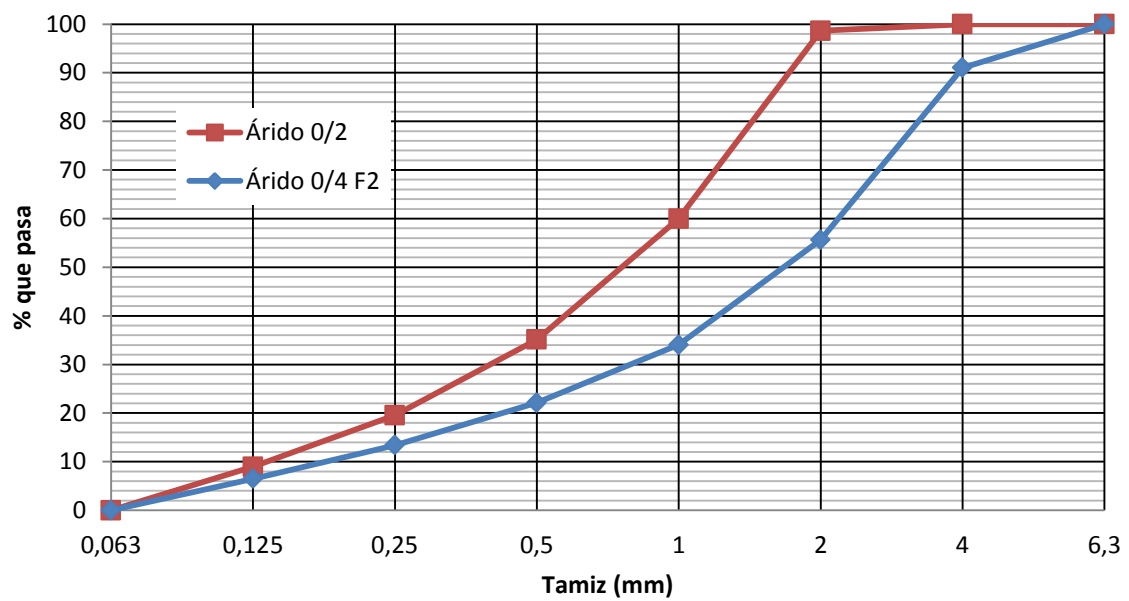


Figura B.20. Granulometría áridos Fase 2

Humedad de los áridos

Las arenas se encuentran amontonadas en el Laboratorio y se riegan diariamente, por lo que se encuentran húmedas en el momento de su utilización. Cada día, antes de su uso, debemos calcular sus humedades y corregir las granulometrías.

Para ello primeramente se pesa la paella con la espátula en la báscula y se apunta su peso (paella + espátula). A continuación se recoge una muestra de la arena, se vierte en la paella y se registra su peso (paella + espátula + arena húmeda).

Para realizar secado se coloca la pella con la muestra en el hornillo de butano y se seca hasta masa contante según figura xx, seguidamente se coloca sobre la báscula poniendo una madrea u otro recipiente para evitar que se quemé y se registra su masa (paella + espátula + arena seca).

$$\text{Humedad} = \frac{(p + e + \text{arena húmeda}) - (p + e + \text{arena seca})}{(p + e + \text{arena seca}) - (p + e)} \times 100$$

En la figura B.22 se muestran los utensilios necesarios para realizar el cálculo de la humedad de las arenas.



Figura B.21. Secado de la muestra en hornillo



Figura B.22. Utensilios para el cálculo de la humedad

B.3.- ADITIVOS

SikaPlast®-380

Superplastificante de alto rango para hormigones

| | |
|--|---|
| Descripción del Producto | <p>Aditivo superplastificante de alto rendimiento para la fabricación de todo tipo de hormigones realizados en plantas de hormigón preparado; especialmente aquellos con consistencia fluida mejorando su bombeabilidad.</p> <p>No ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras debido a que es un producto exento de cloruros</p> |
| Usos | <ul style="list-style-type: none"> ■ Aditivo muy adecuado para mezclas "robustas", donde existen frecuentes variaciones en las materias primas y en la humedad de éstas ■ Realización de todo tipo de hormigones, mejorando considerablemente la consistencia y facilidad de colocación de los mismos ■ El hormigón puede transportarse a largas distancias sin pérdida de trabajabilidad ■ Apto para la confección de hormigón autocompactante ■ La segregación y exudación de agua en el hormigón se ven muy disminuidas |
| Características/Ventajas | <ul style="list-style-type: none"> ■ Facilita notablemente la colocación o puesta en obra de los hormigones, mejorando la adherencia a las armaduras. ■ Aumento de la densidad del hormigón mejorando sus resistencias mecánicas, durabilidad e impermeabilidad . ■ Incrementa la estabilidad y la cohesión de las mezclas. ■ Mejora notablemente el acabado superficial de los hormigones. ■ Por su alto poder de reducción de agua, optimiza al máximo las mezclas, economizando el precio del m3 de hormigón ■ Ventajas estéticas. Aditivo válido para hormigón blanco. ■ Reducción o eliminación total del proceso de vibrado en el hormigón |
| Certificados/Normas | Cumple con la Norma UNE -EN 934-2. Grupo 11: Reductor de agua/ Retardante/ Superplastificante |
| Datos del Producto | |
| Forma | |
| Apariencia/color | Líquido verde |
| Presentación | Contenedores de 1 m ³ . Bajo pedido puede suministrarse a granel. |
| Almacenamiento | |
| Condiciones de almacenamiento/ Conservación | <p>12 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados . En lugar seco y fresco protegiéndolos de las heladas y el frío excesivo, a una temperatura entre +5 °C y +30 °C.</p> <p>Proteger de la exposición a luz directa del sol.</p> |
| Datos Técnicos | |
| Composición química | Polímeros modificados en solución acuosa |
| Densidad (20°C) | Aprox. 1,1 kg/l. |

| | |
|---|---|
| Contenido de sólidos | Aprox. 25% |
| Valor del pH | Aprox. 5 |
| Información del Sistema | |
| Detalles de Aplicación | |
| Consumo/Dosificación | Según las propiedades deseadas, SikaPlast®-380 se dosificará entre el 0.5% y el 1.8% del peso del cemento |
| Instrucciones de Aplicación | <p>Añadir en el agua de amasado o en la mezcladora al mismo tiempo que el agua.</p> <p>Se recomienda amasar el hormigón para la perfecta homogenización y actuación del aditivo.</p> <p>SikaPlast® 380 puede utilizarse en combinación con otros aditivos Sika.</p> <p>Se recomienda realizar ensayos previos para determinar las dosificaciones adecuadas.</p> |
| Notas de aplicación/Límites | <p>Con heladas intensas y prolongadas, SikaPlast®-380 puede helarse, pero una vez deshelado lentamente y agitado cuidadosamente y verificando que no se haya desestabilizado, puede emplearse sin problemas.</p> <p>Debido a la acción de los rayos del sol, el producto puede perder su coloración, sin que esto afecte a las propiedades del producto.</p> <p>Para cualquier aclaración rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico.</p> |
| Nota | Todos los datos técnicos de esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias que escapan de nuestro control. |
| Instrucciones de Seguridad e Higiene | Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad. |
| Notas Legales | Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo con el uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Producto local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página "www.sika.es". |

Figura B.23. Ficha técnica de superfluidificante

Sika® ViscoMAC Aer 10

| | |
|--|--|
| Descripción | Aireante específicamente diseñado para el sistema Sika® ViscoMAC que reparte de forma muy uniforme y estable, finas burbujas de aire en el hormigón |
| Forma | Líquido |
| Color | Marrón |
| Presentación | Garrafa de 25 Kg |
| Condiciones de Almacenamiento/ Conservación | 6 meses desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar fresco y seco, entre +5 y +30 ° C al resguardo de las heladas. |
| Densidad (20 °C) | Aprox. 11 |
| Dosificación | En función de las materias primas utilizadas. Como dosificación genérica: <ul style="list-style-type: none"> • Entre 0,1% y 0,3% sobre peso de cemento |
| Instrucciones de aplicación | Añadir el producto junto con el agua de amasado o a la mezcla ya realizada reamasando de nuevo para conseguir homogeneidad en toda la masa |
| Certificados/ Normativa | Cumple con la Norma UNE –EN 934-2, tabla 5: inclusor de aire |

Figura B.24. Ficha técnica de aireante

Sika® ViscoMAC Retarder 20

| | |
|--|--|
| Descripción | Aditivo específicamente diseñado para el sistema Sika® ViscoMAC que presenta un alto efecto retardador de fraguado, produciendo un rápido endurecimiento una vez pasado su efecto, |
| Forma | Líquido |
| Color | Marrón |
| Presentación | Garrafa 25 kg |
| Condiciones de Almacenamiento/ Conservación | 6 meses desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar fresco y seco, entre +5 y +30 ° C al resguardo de las heladas. |
| Densidad | Aprox 1,2 kg/ l |
| Dosificación | En función de las materias primas utilizadas. Como dosificación genérica: Entre 0,1% y 0,5% sobre peso de cemento |
| Instrucciones de aplicación | Añadir el producto junto con el agua de amasado o a la mezcla ya realizada reamasando de nuevo para conseguir homogeneidad en toda la masa |
| Certificados/ Normativa | Cumple con la Norma UNE –EN 934-2, tabla 8: retardador de fraguado |

Figura B.25. Ficha técnica de retardador de fraguado

Sika® ViscoMAC Control 30

| | |
|--|--|
| Descripción | Aditivo diseñado específicamente para reducir de manera significativa la retracción de los morteros realizados en el Sistema Sika® ViscoMAC |
| Forma | Líquido |
| Color | Incoloro |
| Presentación | Garrafa 25 kg |
| Condiciones de Almacenamiento/ Conservación | 12 meses desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar fresco y seco, entre +5 y +30 ° C al resguardo de las heladas. |
| Densidad | Aprox 0,935kg/ l |
| Dosificación | En función de las materias primas utilizadas. Como dosificación genérica: Entre 0,8% y 1,2% sobre peso de cemento |
| Instrucciones de aplicación | Añadir el producto junto con el agua de amasado o a la mezcla ya realizada reamasando de nuevo para conseguir homogeneidad en toda la masa |

Figura B.26. Ficha técnica controlador de fisuración

B.4.- FIBRAS MULTIFILAMENTO DE POLIPROPILENO**Sikafiber® M-12**

Fibras de polipropileno multifilamento para el refuerzo de hormigones y morteros

| | |
|---------------------------------|--|
| Descripción del Producto | Es una fibra multifilamento de polipropileno diseñada para ser mezclada con hormigones y morteros con el fin de aumentar su durabilidad y evitar la fisuración. |
| Usos | <p>Se utilizan añadiéndose al hormigón o mortero, para mejorar las características siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Resistencia a la fisuración. ■ Resistencia al impacto. ■ Resistencia a flexotracción. ■ Resistencia a la abrasión. <p>Su uso está especialmente indicado en:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Losas de hormigón (soleras, forjados). ■ Pavimentos de hormigón. ■ Hormigón y Mortero proyectado. ■ Morteros. ■ Revocos de fachadas. ■ Elementos prefabricados. ■ Revestimiento de canales. <p>Sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del hormigón. En cambio no sustituye a las armaduras principales obtenidas mediante cálculo.</p> |
| Características/Ventajas | <p>La adición en la masa de hormigón o mortero de estas fibras aporta las ventajas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Perfecta dispersión en la masa del hormigón o mortero. ■ Asegura la distribución homogénea y uniforme de las tensiones en la masa de hormigón o mortero, evitando la formación de fisuras y los consiguientes puntos débiles. ■ Reduce la fisuración por retracción. ■ Aumenta la impermeabilidad. ■ Reduce el riesgo de disgregación de la masa. ■ Mejora la resistencia a compresión y a tracción. ■ Aumenta la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad. |
| Datos del Producto | |
| Forma | |
| Presentación | Bolsas de 600 g. Autodestruibles en la masa de hormigón o mortero. Caja de 20 bolsas |

| Almacenamiento | | | |
|--|---|--------|---------|
| Condiciones de almacenamiento/ Conservación | En lugar seco y fresco. Conservación ilimitada | | |
| Datos Técnicos | | | |
| Composición química | Fibras de polipropileno | | |
| Densidad (20 °C) | Aprox. 0,91 kg/l | | |
| Absorción de agua | Nula | | |
| Alargamiento a rotura | 80-140% | | |
| Resistencia a compresión (Mpa) | | 7 días | 28 días |
| | | 21,4 | 26,7 |
| | Hormigón testigo Hormigón con Sikafiber M-12 | 25,4 | 28,9 |
| Resistencia a tracción Indirecta (Mpa) | | 7 días | 28 días |
| | | 2,13 | 2,76 |
| | Hormigón testigo Hormigón con Sikafiber M-12 | 2,63 | 2,9 |
| Resistencia a flexión (Mpa) | | 7 días | 28 días |
| | | 2,74 | 3,5 |
| | Hormigón testigo Hormigón con Sikafiber M-12 | 3,01 | 3,79 |
| Resistencia al impacto (N de golpes) | | 7 días | 28 días |
| | | 28 | 39 |
| | Hormigón testigo Hormigón con Sikafiber M-12 | 31 | 42 |
| Resistencia química | Resistente a los rayos ultravioletas. Inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. Imputrescible, resistente a hongos y bacterias. | | |
| Longitud | 12 mm | | |
| Tenacidad | ~ 280-310 N/mm ² / 30-34 cn/tex | | |
| Punto de fusión | ~ 163 - 170 °C | | |
| Diámetro de fibras | ~ 31 µm | | |
| Número de fibras | ~ 102 millones/kg | | |

| Información del Sistema | |
|---|--|
| Detalles de Aplicación | |
| Consumo/Dosificación | Es de una bolsa de 600 gramos por cada metro cúbico de hormigón o mortero. |
| Instrucciones de Aplicación | <p>Se agrega, en planta o a pie de obra, añadiendo la bolsa cerrada directamente a la hormigonera en cualquier momento del mezclado o al final del mismo, pero nunca directamente sobre el agua antes de agregar el resto de los componentes. Una vez añadido el Sikafiber® M-12 basta con prolongar el amasado durante al menos 5 minutos. Pasado este tiempo, la bolsa se deshace al entrar en contacto con el medio alcalino del hormigón.</p> <p>Se emplea preferentemente en morteros, microhormigones y hormigones con tamaño máximo de áridos de 20 y resistencias mínimas de 17,5 MPa.</p> |
| Notas de aplicación /Limitaciones | <p>No reduce la trabajabilidad del hormigón, aunque por observación visual puede parecerlo. La medida de la consistencia de los hormigones mediante el cono de Abrams no es representativa, ya que este método es poco sensible para este tipo de hormigones. Se recomienda realizar la medida de la consistencia mediante el método del cono invertido UNE 83-503-99.</p> <p>No sustituye a las armaduras principales y secundarias resultantes del cálculo. No evita las grietas derivadas de un mal dimensionamiento.</p> <p>No sustituye las labores convencionales de curado de las masas de hormigón o mortero.</p> <p>No elimina la retracción por secado.</p> <p>Es compatible con cualquier otro aditivo de SIKA®.</p> <p>Para cualquier aclaración rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico.</p> |
| Notas | Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control. |
| Instrucciones de Seguridad e Higiene | Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad. |
| Notas Legales | Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página «www.sika.es». |

Figura B.27. Ficha técnica de fibras multifilamento de polipropileno

ANEJO C

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MORTERO FRESCO DE LAS DOSIFICACIONES DE PRUEBA

Parte 1

PRUEBA 1.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 225 g | 184,44 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 485 g | 500,33 g | 200 mm | 200 mm | 200 mm |
| Árido 0/4 | 1300 g | 1320,28 g | | | NO |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 3,16% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 1,56% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,68 | 0,68 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 11,73% | | | | |

Válida: NO. Consistencia plástica

PRUEBA 2.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 225 g | 184,44 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 1300 g | 1341,08 g | 175 mm | 165 mm | 170 mm |
| Árido 0/4 | 485 g | 492,57 g | | | NO |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 3,16% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 1,56% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,68 | 0,68 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 11,73% | | | | |

Válida: NO. Consistencia plástica

PRUEBA 3.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 225 g | 172,59 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 1300 g | 1341,08 g | 140 mm | 150 mm | 145 mm |
| Árido 0/4 | 485 g | 490,72 g | | | NO |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,7% peso cemento | 5,61 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 3,16% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 1,18% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,68 | 0,68 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 11,73% | | | | |

Válida: NO. Consistencia plástica

PRUEBA 4.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 258 g | 207,52 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 1257 g | 1296,72 g | 150 mm | 155 mm | 153 mm |
| Árido 0/4 | 436 g | 441,14 g | | | NO |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,7% peso cemento | 5,61 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 3,16% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 1,18% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 11,73% | | | | |

Válida: NO. Consistencia plástica

PRUEBA 5.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 258 g | 206,58 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 1256 g | 1295,69 g | 190 mm | 200 mm | 195 mm |
| Árido 0/4 | 435 g | 440,13 g | | | NO |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 2,0% peso cemento | 6,60 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 3,16% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 1,18% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 11,73% | | | | |

Válida: NO. Consistencia plástica

PRUEBA 6.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 290 g | 241,17 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 1209 g | 1247,2 g | 220 mm | 230 mm | 225 mm |
| Árido 0/4 | 397 g | 401,68 g | | | SI |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,8% peso cemento | 5,94 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 3,16% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 1,18% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,88 | 0,88 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 11,73% | | | | |

Válida: SI. Consistencia fluida

PRUEBA 7.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 258 g | 207,21 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 1255 g | 1294,66 g | 190 mm | 190 mm | 190 mm |
| Árido 0/4 | 440 g | 445,19 g | | | NO |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,8% peso cemento | 5,94 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 3,16% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 1,18% | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 11,73% | | | | |

Válida: NO. Consistencia plástica

PRUEBA 8.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 287 g | 233,37 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 1171 g | 1208 g | 205 mm | 205 mm | 205 mm |
| Árido 0/4 | 430 g | 435,07 g | | | SI |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,8% peso cemento | 5,94 g | | | |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,5% peso cemento | 1,65 g | | | |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,2% peso cemento | 3,96 g | | | |
| Fibras multifilamento (Fiber M12) | 0,6 g | 0,6 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 3,16% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 1,18% | | | | |
| a/c | 0,88 | 0,88 | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 11,73% | | | | |

Válida: NO. Consistencia fluida. Problema: exudación.

PRUEBA 9.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 287 g | 235,91 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 1173 g | 1210,07 g | 210 mm | 220 mm | 215 mm |
| Árido 0/4 | 433 g | 438,11 g | | | SI |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,8% peso cemento | 5,94 g | | | |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,1% peso cemento | 0,33 g | | | |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 0,8% peso cemento | 2,64 g | | | |
| Fibras multifilamento (Fiber M12) | 0,6 g | 0,6 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 3,16% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 1,18% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,88 | 0,88 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 11,73% | | | | |

Válida: NO. Consistencia fluida. Problema: los finos se quedan en la parte de arriba, polvillo blanco en la parte superior de las probetas.

PRUEBA 10.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|------------|--------|
| Cemento | 330 g | 330 g | CONSISTENCIA | | |
| Agua | 287 g | 202,58 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 433 g | 468,16 g | 215 mm | 220 mm | 218 mm |
| Árido 0/4 | 1173 g | 1213,35 g | | | SI |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,8% peso cemento | 5,94 g | | | |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,1% peso cemento | 0,33 g | | | |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 0,8% peso cemento | 2,64 g | | | |
| Fibras multifilamento (Fiber M12) | 0,6 g | 0,6 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 8,12% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 3,44% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,88 | 0,88 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 11,73% | | | | |

Válida: SI. Consistencia fluida. BUENO.

Parte 2

PRUEBA 11.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|------------|--------|
| Cemento | 330 g | 330 g | CONSISTENCIA | | |
| Agua | 259 g | 177,85 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 572 g | 612,73 g | 150 mm | 150 mm | 150 mm |
| Árido 0/4 | 1122 g | 1158,47 g | | | NO |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,2% peso cemento | 3,96 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | | | | |

Válida: NO. Consistencia plástica

PRUEBA 12.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|------------|--------|
| Cemento | 330 g | 330 g | CONSISTENCIA | | |
| Agua | 259 g | 176,86 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 572 g | 612,73 g | 160 mm | 170 mm | 165 mm |
| Árido 0/4 | 1122 g | 1158,47 g | | | NO |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,3% peso cemento | 3,96 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | | | | |

Válida: NO. Consistencia plástica

PRUEBA 13.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 259 g | 177,19 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 572 g | 612,73 g | 190 mm | 200 mm | 195 mm |
| Árido 0/4 | 1122 g | 1158,47 g | | | NO |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,4% peso cemento | 4,62 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | | | | |

Válida: NO. Consistencia plástica

PRUEBA 14.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|------------|--------|
| | | | CONSISTENCIA | | |
| Cemento | 330 g | 330 g | | | |
| Agua | 259 g | 176,86 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 572 g | 612,73 g | 210 mm | 210 mm | 210 mm |
| Árido 0/4 | 1122 g | 1158,47 g | | | SI |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | | | | |

Válida: SI. Consistencia fluida

PRUEBA 15.

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|------------|--------|
| Cemento | 330 g | 330 g | CONSISTENCIA | | |
| Agua | 259 g | 176,70 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 570 g | 610,58 g | 205 mm | 205 mm | 205 mm |
| Árido 0/4 | 1121 g | 1157,43 g | | | SI |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g | | | |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | | | | |

Válida: SI. Consistencia fluida

ANEJO D. Resultados de los ensayos de mortero fresco de las dosificaciones adoptadas

D.1.- Esgurrimiento

C2-R0,05

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|------------------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 172,99 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 608,10 g |
| Árido 0/4 | 1116 g | 1153,5 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,17 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,06% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,36% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|------------------------------|------------|--------|
| ESGURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 210 mm | 210 mm | 210 mm |

C2-R0,10

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 172,86 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 608,10 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1152,46 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,06% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,36% | |
| | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------|------------|--------|
| ESCURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 215 mm | 215 mm | 215 mm |
| | | SI |

C2-R0,15

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|--------------------------------|--------------------|------------------|------------------------------|------------|--------|
| Cemento | 330 g | 330 g | ESCURRIMIENTO | | |
| Agua | 259 g | 172,69 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Árido 0/2 | 568 g | 608,10 g | 215 mm | 215 mm | 215 mm |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1152,46 g | | | |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g | | | |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,50 g | | | |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g | | | |
| Humedad árido 0/2 | 7,06% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 3,36% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | | | | |

C2-R0,05+A0,1

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 184,4 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 602,61 g |
| Árido 0/4 | 1116 g | 1146,24 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,17 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,28% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,71% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------|------------|--------|
| ESCURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 220 mm | 220 mm | 220 mm |

C2-R0,10+A0,1

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 184,27 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 602,61 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1145,22 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,28% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,71% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------|------------|--------|
| ESCURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 210 mm | 210 mm | 210 mm |

C2-R0,15+A0,1

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 184,1 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 602,61 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1145,22 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,50 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,28% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,71% | |
| | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------|------------|--------|
| ESCURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 215 mm | 215 mm | 215 mm |

C2-R0,05+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 191,24 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 604,69 g |
| Árido 0/4 | 1116 g | 1138,65 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,17 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------|------------|--------|
| ESCURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 220 mm | 210 mm | 215 mm |

C2-R0,10+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 191,09 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 604,69 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1137,63 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------|------------|--------|
| ESCURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 200 mm | 200 mm | 200 mm |

C2-R0,15+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 190,93 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 604,69 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1137,63 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,50 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------|------------|--------|
| ESCURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 190 mm | 200 mm | 195 mm |

C2-R0,05+A0,1+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 190,97 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 603,63 g |
| Árido 0/4 | 1116 g | 1138,65 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,17 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------|------------|--------|
| ESCURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 200 mm | 200 mm | 200 mm |

C2-R0,10+A0,1+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 190,83 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 603,63 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1137,63 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------|------------|--------|
| ESCURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 200 mm | 215 mm | 208 mm |

C2-R0,15+A0,1+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 190,66 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 603,63 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1137,63 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,50 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|-----------------------|------------|--------|
| ESCURRIMIENTO | | |
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 210 mm | 210 mm | 210 mm |

D.2.- Periodo de trabajabilidad

C2-R0,05

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|--------------------------------|--------------------|-----------|----------------------------------|------------|-----------------------|
| Cemento | 330 g | 330 g | PERIODO DE TRABAJABILIDAD | | |
| Agua | 259 g | 173,87 g | Minutos | Gramos | 0,5 N/mm ² |
| Árido 0/2 | 568 g | 608,44 g | 332 | 790 | 365 min |
| Árido 0/4 | 1116 g | 1152,27 g | 375 | 1600 | |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g | ESCURRIMIENTO | | |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,17 g | Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g | 220 mm | 215 mm | 218 mm |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | | | | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | | | | |
| | | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | | |
| | | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | | | | |

C2-R0,10

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,74 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 608,44 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1151,24 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|---------------------------|--------|-----------------------|
| PERIODO DE TRABAJABILIDAD | | |
| Minutos | Gramos | 0,5 N/mm ² |
| 385 | 1200 | 396 min |
| 403 | 1550 | |

| ESCURRIMIENTO | | |
|---------------|------------|--------|
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 210 mm | 205 mm | 208 mm |

C2-R0,15

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,58 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 608,44 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1151,24 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,50 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|---------------------------|--------|-----------------------|
| PERIODO DE TRABAJABILIDAD | | |
| Minutos | Gramos | 0,5 N/mm ² |
| 417 | 1200 | 420 min |
| 426 | 1930 | |

| ESCURRIMIENTO | | |
|---------------|------------|--------|
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 210 mm | 210 mm | 210 mm |

C2-R0,05+A0,1

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,61 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 607,37 g |
| Árido 0/4 | 1116 g | 1152,27 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,17 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/4 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|---------------------------|--------|-----------------------|
| PERIODO DE TRABAJABILIDAD | | |
| Minutos | Gramos | 0,5 N/mm ² |
| 482 | 1030 | 496 min |
| 500 | 1530 | |

| ESCURRIMIENTO | | |
|---------------|------------|--------|
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 200 mm | 205 mm | 203 mm |

C2-R0,10+A0,1

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,48 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 607,37 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1151,24 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|---------------------------|--------|-----------------------|
| PERIODO DE TRABAJABILIDAD | | |
| Minutos | Gramos | 0,5 N/mm ² |
| 513 | 820 | 540 min |
| 540 | 1420 | |

| ESCURRIMIENTO | | |
|---------------|------------|--------|
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 210 mm | 210 mm | 210 mm |

C2-R0,10+A0,1

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,32 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 607,37 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1151,24 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,50 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | | |
|---------------------------|--------|-----------------------|
| PERIODO DE TRABAJABILIDAD | | |
| Minutos | Gramos | 0,5 N/mm ² |
| 518 | 810 | 573 min |
| 573 | 1420 | |

| ESCURRIMIENTO | | |
|---------------|------------|--------|
| Diámetro 1 | Diámetro 2 | Media |
| 200 mm | 200 mm | 200 mm |

D.3.- Aire ocluido

C2

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Cemento | 495 g | 495 g |
| Agua | 389 g | 310,31 g |
| Árido 0/2 | 855 g | 886,21 g |
| Árido 0/4 | 1682 g | 1714,63 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 7,43 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0 |
| Humedad árido 0/2 | 3,65% | |
| Humedad árido 0/4 | 1,94% | |
| | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/4 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | |
|-----------------------|-------|
| AIRE OCLUIDO | |
| Cantidad | 1,60% |

C2+A0,1

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | |
|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|--------|
| Cemento | 495 g | 495 g | AIRE OCLUIDO | |
| Agua | 389 g | 309,32 g | Cantidad | 10,00% |
| Árido 0/2 | 855 g | 886,21 g | | |
| Árido 0/4 | 1682 g | 1714,63 g | | |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 7,43 g | | |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,50 g | | |
| Humedad árido 0/2 | 3,65% | | | |
| Humedad árido 0/4 | 1,94% | | | |
| | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | |
| | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | | | |

C2+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO | ENSAYO MORTERO FRESCO | |
|-----------------------------|----------------------|------------------|------------------------------|-------|
| Cemento | 495 g | 495 g | AIRE OCLUIDO | |
| Agua | 389 g | 293,79 g | Cantidad | 6,50% |
| Árido 0/2 | 855 g | 892,45 g | | |
| Árido 0/4 | 1682 g | 1723,71 g | | |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 7,43 g | | |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,9 g | | |
| Humedad árido 0/2 | 4,38% | | | |
| Humedad árido 0/4 | 2,48% | | | |
| | | | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 | | |
| | | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | | | |

C2+R0,05

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|------------------|
| Cemento | 495 g | 495 g |
| Agua | 389 g | 294,0 g |
| Árido 0/2 | 855 g | 892,45 g |
| Árido 0/4 | 1682 g | 1723,71 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 7,43 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,25 g |
| Humedad árido 0/2 | 4,38% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,48% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/4 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | |
|------------------------------|-------|
| AIRE OCLUIDO | |
| Cantidad | 3,50% |

C2+R0,10

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|------------------|
| Cemento | 495 g | 495 g |
| Agua | 389 g | 294,0 g |
| Árido 0/2 | 855 g | 892,45 g |
| Árido 0/4 | 1682 g | 1723,71 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 7,43 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,50 g |
| Humedad árido 0/2 | 4,38% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,48% | |
| | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | |
|------------------------------|-------|
| AIRE OCLUIDO | |
| Cantidad | 3,30% |

C2+R0,15

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|------------------|
| Cemento | 495 g | 495 g |
| Agua | 389 g | 293,5 g |
| Árido 0/2 | 855 g | 892,45 g |
| Árido 0/4 | 1682 g | 1723,71 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 7,43 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,74 g |
| Humedad árido 0/2 | 4,38% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,48% | |
| | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/4 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO FRESCO | |
|------------------------------|-------|
| AIRE OCLUIDO | |
| Cantidad | 3,50% |

ANEJO E

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MORTERO ENDURECIDO DE LAS DOSIFICACIONES ADOPTADAS

E.1.- Resistencias mecánicas**C2-R0,05**

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|-------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,87 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 608,44 g |
| Árido 0/4 | 1116 g | 1152,27 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,17 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/4 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|---------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | 23,556 Mpa | |
| | 20,488 Mpa | |
| Flexotracción | 6,09 Mpa | |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 8,606 Mpa | 9,014 Mpa | 8,81 Mpa |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 30,638 Mpa | 29,675 Mpa | 30,251 Mpa |
| 29,863 Mpa | 30,531 Mpa | 30,103 Mpa |

C2-R0,10

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|-------------------------------|--------------------|------------------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,74 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 608,44 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1151,24 g |
| (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|----------------------------------|------------|-----------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | 20,513 Mpa | |
| | 20,538 Mpa | |
| Flexotracción | 4,97 Mpa | |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 8,927 Mpa | 7,711 Mpa | 8,319 Mpa |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 28,90 Mpa | 26,956 Mpa | 28,85 Mpa |
| 28,80 Mpa | 27,163 Mpa | 27,06 Mpa |

C2-R0,15

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|-------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,58 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 608,44 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1151,24 g |
| (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,50 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|---------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | 20,456 Mpa | |
| | 20,481 Mpa | |
| Flexotracción | 5,06 Mpa | |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 8,723 Mpa | 9,040 Mpa | 8,882 Mpa |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 28,931 Mpa | 27,844 Mpa | 28,928 Mpa |
| 28,925 Mpa | 28,588 Mpa | 28,516 Mpa |

C2-R0,05+A0,1

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,61 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 607,37 g |
| Árido 0/4 | 1116 g | 1152,27 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,17 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|---------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | | 12,381 Mpa |
| | | 11,938 Mpa |
| Flexotracción | | 3,26 Mpa |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 5,871 Mpa | 5,480 Mpa | 5,676 Mpa |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 15,869 Mpa | 16,55 Mpa | 16,029 Mpa |
| 16,188 Mpa | 16,031 Mpa | 16,291 Mpa |

C2-R0,10+A0,1

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,48 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 607,37 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1151,24 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| | | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| | | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|---------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | 10,938 Mpa | |
| | 10,969 Mpa | |
| Flexotracción | 2,88 Mpa | |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 5,337 Mpa | 5,398 Mpa | 5,368 Mpa |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 14,913 Mpa | 14,819 Mpa | 14,591 Mpa |
| 14,269 Mpa | 14,431 Mpa | 14,625 Mpa |

C2-R0,15+A0,1

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 173,32 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 607,37 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1151,24 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,50 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Humedad árido 0/2 | 7,12% | |
| Humedad árido 0/4 | 3,25% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|---------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | 11,925 Mpa | |
| | 11,638 Mpa | |
| Flexotracción | 3,16 Mpa | |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 5,815 Mpa | 5,674 Mpa | 5,745 Mpa |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 16,225 Mpa | 15,713 Mpa | 16,528 Mpa |
| 16,831 Mpa | 16,288 Mpa | 16,001 Mpa |

C2-R0,05+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 191,24 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 604,69 g |
| Árido 0/4 | 1116 g | 1138,65 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,17 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|---------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | 22,556 Mpa | |
| | 22,694 Mpa | |
| Flexotracción | 5,51 Mpa | |
| Deformación | 22,255 mm | |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 9,448 Mpa | 9,504 Mpa | 9,476 Mpa |
| Deformación | | 30,29 mm |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 29,588 Mpa | 28,338 Mpa | 29,522 Mpa |
| 29,456 Mpa | 25,788 Mpa | 27,063 Mpa |

C2-R0,10+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 191,09 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 604,69 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1137,63 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|----------------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | 20,181 Mpa | |
| | 19,469 Mpa | |
| Flexotracción | 5,16 Mpa | |
| Deformación | 24,71 mm | |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 7,814 Mpa | 7,835 Mpa | 7,825 Mpa |
| Deformación | | 30,001 mm |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 26,438 Mpa | 26,313 Mpa | 27,126 Mpa |
| 27,813 Mpa | 25,713 Mpa | 26,013 Mpa |

C2-R0,15+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 190,93 g |
| Árido 0/2 | 568 g | 604,69 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1137,63 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,50 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m3 | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|---------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | 11,069 Mpa | |
| | 10,475 Mpa | |
| Flexotracción | 2,88 Mpa | |
| Deformación | 31,840 mm | |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 5,391 Mpa | 5,398 Mpa | 5,394 Mpa |
| Deformación | | 22,255 mm |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 12,631 Mpa | 13,981 Mpa | 12,631 Mpa |
| 12,631 Mpa | 13,394 Mpa | 13,688 Mpa |

C2-R0,05+A0,1+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 190,97 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 603,63 g |
| Árido 0/4 | 1116 g | 1138,65 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,05% peso cemento | 0,17 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|---------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | | 9,044 Mpa |
| | | 8,700 Mpa |
| Flexotracción | | 2,39 Mpa |
| Deformación | | 30,202 mm |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 4,988 Mpa | 5,086 Mpa | 5,037 Mpa |
| Deformación | | 22,255 mm |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 12,525 Mpa | 13,15 Mpa | 12,875 Mpa |
| 13,225 Mpa | 12,538 Mpa | 12,844 Mpa |

C2-R0,10+A0,1+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 190,83 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 603,63 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1137,63 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,10% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|---------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | 9,044 Mpa | |
| | 8,700 Mpa | |
| Flexotracción | 2,39 Mpa | |
| Deformación | 30,202 mm | |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 4,988 Mpa | 5,086 Mpa | 5,368 Mpa |
| Deformación | | 22,255 mm |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 12,525 Mpa | 13,225 Mpa | 12,875 Mpa |
| 13,15 Mpa | 12,538 Mpa | 12,844 Mpa |

C2-R0,15+A0,1+F

| AMASADA | DISEÑO | CORREGIDO |
|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Cemento | 330 g | 330 g |
| Agua | 259 g | 190,66 g |
| Árido 0/2 | 567 g | 603,63 g |
| Árido 0/4 | 1115 g | 1137,63 g |
| Aditivo (SikaPlast 380) | 1,5% peso cemento | 4,95 g |
| Aditivo (ViscoMAC Aer 10) | 0,1% peso cemento | 0,33 g |
| Aditivo (ViscoMAC Retarder 20) | 0,15% peso cemento | 0,50 g |
| Aditivo (ViscoMAC Control 30) | 1,0% peso cemento | 3,3 g |
| Fibras multifilamento | 600 g/m ³ | 0,6 g |
| Humedad árido 0/2 | 6,46% | |
| Humedad árido 0/4 | 2,03% | |
| a/c | 0,78 | 0,78 |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 19,22% | |
| Cantidad de finos arena 0/2 | 10,08% | |

| ENSAYO MORTERO ENDURECIDO | | |
|---------------------------|------------|------------|
| ENSAYO A 7 DÍAS | | |
| Compresión | 8,513 Mpa | |
| | 9,056 Mpa | |
| Flexotracción | 2,37 Mpa | |
| Deformación | 30,867 mm | |
| ENSAYO A 28 DÍAS | | |
| Flexotracción | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 4,549 Mpa | 4,833 Mpa | 4,691 Mpa |
| Deformación | | 22,255 mm |
| Compresión | | |
| Probeta 2 | Probeta 3 | Media |
| 11,544 Mpa | 12,475 Mpa | 11,635 Mpa |
| 11,725 Mpa | 12,194 Mpa | 12,335 Mpa |

