Tesis Doctoral

Universidad Politécnica de Madrid

ANÁLISIS DE LA ADHERENCIA ENTRE MORTEROS Y PIEZAS CERÁMICAS

Doctorando: Gregorio García López de la Osa

Tutor: Dr. D. Mariano González Cortina

Directores: Dr. D. Mariano González Cortina

Dra. Dña. Mercedes del Río Merino

febrero 2020

TESIS DOCTORAL

TÍTULO: ANÁLISIS DE LA ADHERENCIA ENTRE MORTEROS Y PIEZAS CERÁMICAS

Tribunal nombrado por el Sr. Rector Magnífico de la Universidad Politécnica de Madrid, el día de de 2010

Presidente:

D./Dña.

Vocales:

D./Dña.

D./Dña.

D./Dña.

Secretario:

D./Dña.

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día de de 2020, en la Escuela Técnica Superior de Edificación, acuerda otorgarle la calificación de:

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

A mi mujer y mis hijos, mi rumbo en este mundo, un faro en la oscuridad.

Agradecimientos:

A mis padres por todo.

A mis hermanos, por estar ahí, tantas veces en la vida.

A mis amigos, por otorgarme el privilegio de la franqueza y la amistad sincera.

A mis Directores por su voto de confianza, su paciencia y sus aportaciones.

A los que han sido mis maestros en la vida:

Mi Padre que, con su bondad inmensa, me ha enseñado hasta en sus silencios.

León López de la Osa Garcés, mi abuelo, que me enseñó el valor de la constancia.

León López de la Osa González, mi tío, que me explicó por primera vez un diagrama de flectores cuando tenía 8 años y desde ahí hasta hoy tantas y tantas cosas.

Ventura Pérez Rodríguez, que me abrió el mundo de la química.

Jesús Revenga Martín, que siempre estuvo allí y me regalo el amor a la historia.

José Adolfo Pérez de Zabalza, con él aprender cualquier ciencia era casi mágico.

Ricardo Tendero Caballero, por regalarme con generosidad su amistad y su apoyo, por hacerme cómplice de sus "conspiraciones" llenas de inmensa humanidad.

Ángel Castaño Cabañas y Claudio Cedillo Casanova por despertar mi amor por la docencia y por nuestra profesión.

Albino Rey Rodríguez, que apostó por mí, su confianza me hizo crecer.

A Sonia Lobo, que me hizo creer.

A los compañeros docentes de la Universidad que me han ayudado en este proceso, por su cariño y sincero apoyo.

Al personal de la ETSEM. Pero entre todos, destaca Santiago Villa Ortega, por trabajar codo con codo y enseñarme tantas cosas con amistad y sentido del humor.

A Dios. Y a la vida, ... a ratos

RESUMEN

La presente Tesis analiza el resultado del uso de determinados productos, como adiciones de morteros de cemento Portland, con el objeto de mejorar la adherencia entre estos y las piezas cerámicas de las fábricas a las que pertenecen, independientemente de su función como mortero de juntas o de revestimiento, siendo en este último caso, donde tiene verdadera repercusión.

En los distintos capítulos se exponen los aspectos necesarios para ello. En el primero la justificación, hipótesis, interés y oportunidad de la tesis. Así como un estudio sobre la adherencia concretado para las fábricas de mortero y piezas cerámicas.

En el segundo se estudia el estado de la cuestión, realizando una recopilación bibliográfica de la adherencia y los productos utilizados hasta la fecha para aumentarla.

En el tercero se fijan los objetivos de esta investigación, cual es demostrar que es posible encontrar en el mercado español productos comercializados en la actualidad, económicos, cuya interacción química con las fases del cemento, permitan mejorar la adherencia de los morteros. Desglosado en varios objetivos específicos parciales.

En el cuarto se establece la metodología experimental seguida para poder concluir sobre el objeto de la tesis y el cumplimiento de los objetivos establecidos.

En el quinto se muestran los resultados obtenidos en cada ensay realizado y la discusión que surge de su análisis y confrontación con resultados de otros ensayos y con los de estudios previos de aplicación en este caso.

En el sexto se establecen las conclusiones a las que lleva el trabajo previamente explicado y que delimitan con claridad el efecto que producen los distintos productos utilizados sobre el factor estudiado de la adherencia.

Se termina con los capítulos dedicados a las futuras líneas de investigación, los indicios de calidad de la misma, expresados en publicaciones realizadas y las diferentes referencias utilizadas en él.

ABSTRACT

This Thesis analyzes the result of the use of certain products, such as Portland cement mortar additions, in order to improve the adhesion between them and the ceramic pieces of the masonry walls to which they belong, regardless of their function as joint mortar or of coating, being in this last case, where it has true repercussion.

In the different chapters, the necessary aspects for this are exposed. In the first, it is shown the justification, hypothesis, interest and opportunity of the thesis. As well as a study on concrete adhesion for mortar masonry walls and ceramic pieces.

In the second one, figure the state of the matter is studied, making a bibliographic compilation of the adherence and the products used to this moment to increase it.

In the third one, the objectives of this research are set, which is to show that it is possible to find cheap, commercialized products in the Spanish market, whose chemical interaction with the cement phases, allows improving the adhesion of mortars. Broken down into several partial specific objectives.

In the fourth, the experimental methodology is established followed to be able to conclude on the object of the thesis and the fulfillment of the established objectives.

The fifth one shows the results obtained in each essay and the discussion that arises from its analysis and confrontation with the results of other trials and those of previous studies of application in this case.

In the sixth, the conclusions to which the previously explained work leads, that clearly delimit the effect produced by the different products used on the studied adherence factor are established.

It ends with the chapters dedicated to future lines of research, the indications of its quality, expressed in publications made and the different references used in it.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	8
1.1.- JUSTIFICACIÓN	10
1.1.1.- HIPÓTESIS	11
1.1.2.- INTERÉS Y OPORTUNIDAD DE LA TESIS.....	11
1.2.- MORTEROS DE CEMENTO	11
1.3.- LA ADHERENCIA	11
1.3.1.- CARACTERÍSTICAS Y FACTORES RELEVANTES EN LA ADHERENCIA	16
2.- ESTADO DE LA CUESTIÓN	21
2.1.- ESTUDIOS SOBRE LA ADHERENCIA	21
2.2.- ESTUDIOS SOBRE LAS ADICIONES.....	23
2.2.1.- LÁTEX – <i>POLÍMERO ACRÍLICO</i>	23
2.2.2.- RESINAS SOLUBLES – <i>COPOLÍMERO DE ESTIRENO-BUTADIENO</i>	25
2.2.3.- METACAOLÍN	26
3.- OBJETIVOS	31
3.1.- OBJETIVO GENERAL	31
3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
4.- METODOLOGÍA	32
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
5.1.- RESULTADOS	46
5.1.1.- FASE I – CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	46
5.1.3.- FASE IV – CARACTERIZACIÓN DE LOS MORTEROS	56
5.2.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS	77
5.4.- ESTUDIO DE COSTES	143
5.2.2.- ANÁLISIS DIFERENCIAL DE RESULTADOS.....	146
6.- CONCLUSIONES	149
7.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	152
8.- INDICIOS DE CALIDAD	153
9.- REFERENCIAS	154
9.1.- GLOSARIO.....	154
9.2.- BIBLIOGRAFÍA	157
9.3.- NORMATIVA	161
9.4.- ÍNDICE GRÁFICO.....	169
9.4.1.- ÍNDICE DE IMÁGENES	169
9.4.2.- ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	171
9.4.3.- ÍNDICE DE TABLAS.....	172
9.4.4.- ÍNDICE DE ANEXOS.....	178

1.- INTRODUCCIÓN

En el sector de la edificación, una parte importante de la actividad se dedica al conocimiento, conservación, restauración, rehabilitación y mantenimiento del patrimonio existente. Para la correcta ejecución de estas actividades, el estudio de las técnicas y materiales utilizados en tiempos pretéritos es sustancial para el logro de su conservación y transmisión a las futuras generaciones.

Con la invención del cemento Portland a mediados del siglo XIX, un nuevo conglomerante se suma a los existentes hasta la fecha, es decir la cal y el yeso. Pero a diferencia de estos, con el Portland se encontró un uso que, unido a la reciente posibilidad de obtener acero en barras, determinó su protagonismo en el futuro, el desarrollo de las estructuras entramadas de hormigón armado. Con este cemento se comenzó a fabricar un hormigón que no solo toleraba la presencia de acero en su interior, sin agresiones químicas, sino que lo protegía de su natural proceso de oxidación y corrosión.

El adecuado precio del hormigón armado, su excelente comportamiento mecánico, la facilidad de hallar sus materias primas y el momento histórico de la Revolución Industrialización, generaron un mercado de dimensiones no conocidas anteriormente y consecuentemente una industria de producción acorde. Por esta razón, el cemento ha ido deviniendo en un material muy accesible por su precio y por su disponibilidad.

Entre las características de las mezclas de cemento Portland se debe resaltar, no solo, su gran resistencia inicial, sino también durante toda su vida. Esto provocó el progresivo desplazamiento de la cal y el yeso del lugar que históricamente habían ocupado.

A día de hoy, han transcurrido casi doscientos años desde el invento del cemento Portland. Existen numerosísimos ejemplos de edificios, considerados como patrimonio histórico construido, que se han realizado total o parcialmente usando morteros y hormigones de cemento Portland.

Por otro lado, la fábrica de piezas cerámicas ha tenido históricamente un elevado protagonismo en la construcción. En España es una tradición de rancio arraigo, ya que muchos de nuestros suelos son una excelente materia prima para las piezas cerámicas y la tecnología necesaria para su fabricación es sencilla. Esta fácil disponibilidad de materia prima de calidad sucede igualmente con los conglomerantes utilizados en los morteros, ya sean de junta o de revestimiento.

Las fábricas tanto con misión portante, como de cerramiento o con ambas, siguen teniendo en la actualidad amplia relevancia en nuestro país, donde más del 90% de las fachadas se realizan con este material (Monjo Carrió,

2005). Aunque, dadas las ventajas y el coste de ejecución de las estructuras entramadas frente a los sistemas estructurales continuos, lo más habitual es que las fachadas de ladrillo se limiten a la función de cerramiento (Mañanas Álvaro, 2014). Para cumplir únicamente esta función les basta con poseer espesores de medio pie de ladrillo estructural (De Miguel Rodríguez, 2009). Por esta razón, el aparejo más utilizado es el de sogas. La fábrica se confina en el marco estructural formado por las vigas y pilares del pórtico, con una entrega variable en función de las especificaciones del proyecto.

Las fábricas de piezas cerámicas manifiestan un excelente comportamiento ante esfuerzos de compresión uniformemente repartidos, con una considerable capacidad portante, siempre que se les dote de la superficie de apoyo necesaria, lo que equivale a decir espesor del muro y condiciones de estabilidad de la fábrica. Así lo atestiguan grandes construcciones de la antigüedad en las que se emplearon piezas cerámicas como material esencial. Un precioso ejemplo madrileño es la Torre y Casa de los Lujanes de principios del siglo XV (Imagen nº 1).

Imagen nº 1.- Torre y Casa de los Lujanes (Madrid): Fuente: Luis García (Bajo licencia GNU).

Sin embargo, los esfuerzos de tracción son mucho más problemáticos, siendo responsables, aunque su magnitud sea muy inferior a los de compresión, de la aparición de fenómenos patológicos, que en los casos extremos alcanza el colapso total o parcial del cerramiento e incluso del edificio al que pertenece (Monjo Carrió, 1997).

Para el comportamiento habitual de las fábricas, sometidas a compresión, más o menos centrada, el mortero de juntas sirve para repartir homogéneamente las cargas entre las piezas, adaptándose a sus imperfecciones. También presta cohesión permitiendo el monolitismo del conjunto. Se pueden generar pequeños esfuerzos de otro tipo, como tracciones y cortantes debidos a asentamiento. Pero, en todo caso, el mortero de albañilería (designación actual para el mortero de juntas) se

mantiene en su posición simplemente por gravedad, adherencia y confinamiento.

Hay otros casos en los que la permanencia del mortero en su posición depende, casi exclusivamente, de su capacidad de adherencia al soporte cerámico sobre el que se encuentra. Es el caso de los morteros de revestimiento.

La importancia de la adherencia en la durabilidad de los morteros de revestimiento, junto con la necesidad de la reparación de morteros con base de cemento Portland en edificios del patrimonio histórico, son las razones para que esta tesis se dedique a la investigación de métodos que la mejoren.

1.1.- JUSTIFICACIÓN

El cemento Portland ya posee una trayectoria histórica de suficiente entidad como para que exista patrimonio histórico a proteger, realizado con estos morteros. Además, la adherencia es un factor sustancial en la durabilidad de los morteros, especialmente en los de revestimiento.

La mejora de la adherencia de los morteros de cemento Portland ha sido históricamente una necesidad, debido a su menor capacidad en comparación con los de cal y yeso. Las estrategias utilizadas hasta la fecha han sido, el uso de morteros mixtos de cal, mallas de diferentes materiales embebidas en la masa de los morteros y fijados al soporte, favorecer el apoyo mecánico sobre las fábricas, mediante huecos y resaltos y, finalmente, la fabricación de morteros con adhesivos en su composición, denominados cementos cola, aunque su uso es el de adhesivo.

La adición de determinadas sustancias a los morteros de cemento Portland puede mejorar la adherencia entre estos mismos y los adherendos cerámicos en contacto con ellos.

En el mercado existen productos fácilmente accesibles y con un precio competitivo que, dadas sus características y sus usos actuales, pueden actuar como aditivos que mejoren esta propiedad de los morteros, con eficacia y eficiencia.

Esta oportunidad es la que impulsa esta tesis, replicando las condiciones de obra en cuanto al uso de materiales, lograr el hallazgo de esos productos que, convertidos en aditivos, mejoren la adherencia de los morteros de cemento Portland.

1.1.1.- HIPÓTESIS

Se establece como tesis del presente trabajo demostrar que, con el uso de determinados productos comerciales, como adiciones de morteros de cemento Portland, se puede mejorar la adherencia entre estos y las piezas cerámicas. Independientemente de su función como mortero de juntas o de revestimiento, siendo en este último caso donde tiene verdadera repercusión.

1.1.2.- INTERÉS Y OPORTUNIDAD DE LA TESIS

A pesar de la importancia de la adherencia, no se han encontrado un número elevado de trabajos para el caso concreto de los morteros de revestimiento. Tanto menos, aún, cuando se trata de morteros de cemento Portland y no de cal o yeso.

Sin embargo, el uso de estos morteros en los revestimientos no puede ser más habitual. Ítem más, el cemento Portland ya tiene edad suficiente como para que exista un patrimonio edificado, con carácter histórico, que requiere de atención con vistas a su conservación.

Este trabajo de investigación contribuye a esta labor, aportando los resultados de la aplicación de productos comerciales en el proceso de fabricación de los morteros de cemento Portland, para ser utilizados en la realización de revestimientos, bien sea en obra nueva o bien en reparación del patrimonio existente.

1.2.- MORTEROS DE CEMENTO

El mortero representa aproximadamente el 20% del volumen total de las obras murarias (Rodríguez-Mora, 2004). En cambio, las consecuencias de su presencia y de que desarrolle su trabajo de la forma adecuada son mucho mayores. Al mortero le solicitamos que una y proteja las piezas de la fábrica que constituye. Igualmente, que posea la resistencia necesaria que se exige a la fábrica para la función asignada. Es necesario también que aporte al muro un nivel determinado de estanqueidad frente a la entrada de agua o aire. Un comportamiento higrotérmico adecuado como en el caso del que le dota el enfoscado de trasdós. Y finalmente, una durabilidad acorde con su función y la inversión realizada para su colocación y mantenimiento.

1.3.- LA ADHERENCIA

Se puede definir la adherencia en el mortero como la propiedad que le permite mantenerse unido a la pieza cerámica que conforma la fábrica. La norma *UNE-EN 1015-12:2016 Métodos de ensayo de los morteros para*

albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros de revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes, define la adherencia como: “la tracción máxima al arrancamiento por carga directa perpendicular a la superficie del mortero para revoco o enlucido que se ha aplicado sobre un soporte”. En función del estado del mortero (antes o después del fraguado), se distingue entre la adherencia en estado fresco y en estado endurecido.

La adherencia en estado fresco tiene una gran importancia en el proceso de ejecución de las fábricas. En la colocación del mortero de albañilería, cuando el operario lo extiende sobre la superficie receptora, hay dos factores íntimamente relacionados que son sustanciales para que el rendimiento sea óptimo. El primero es la docilidad (trabajabilidad) y el segundo la adherencia en fresco. Si el mortero no es dócil, es decir, se resiste a adoptar la forma que el operario le impone, el tiempo necesario para colocarlo se incrementa, reduciendo el rendimiento. Si la adherencia no es buena, en el movimiento de extensión de la masa, las partículas en contacto con las piezas cerámicas tenderán a seguir el movimiento del conjunto de la masa antes que permanecer pegadas a la pieza, reduciendo igualmente el rendimiento. En el caso del mortero de revestimiento es evidente la enorme importancia que adquiere la adherencia ya que, si no es suficiente, no será posible ejecutar el trabajo cayéndose la masa por el simple efecto de la gravedad.

Hay autores que defienden que la adherencia en estado endurecido, es la más importante de las propiedades de un mortero (Alejandre Sánchez, 2002). En el caso de los morteros de revestimiento, su falta deviene en estados patológicos manifestados en los síntomas de fisuración, agrietamiento, embolsamiento y desprendimiento del mortero (Monjo Carrió, 1997).

Desde el punto de vista de la física, la adherencia se define como la “resistencia tangencial que se produce en la superficie de contacto de dos cuerpos cuando se intenta que uno se deslice sobre el otro” (DRAE). Particularizada para las fábricas de piezas cerámicas puede establecerse, bien entre una base y un adherente, como en el caso de un enfoscado sobre un muro, o bien con una junta o unión adhesiva y sendos adherendos, como en el caso del mortero de juntas y las piezas que componen la fábrica.

La adherencia es mayor cuanto mayor energía mecánica pueda absorber la interfase entre los materiales. Por lo tanto, se cuantifica midiendo la fuerza que resiste la unión hasta que cesa en su función. Dependiendo de las características de los materiales, se manifestará deformación mediante un periodo elástico y/o plástico o no, produciéndose, en este último caso, una rotura frágil. Este sería el comportamiento de los morteros no modificados.

Existen dos procedimientos normalizados para cuantificarla: el cizallamiento, cuando la fuerza es paralela al plano de unión; o la tracción, cuando la

fuerza es perpendicular al mismo plano. Dado que se trata de una fuerza repartida en una superficie (la de contacto), se mide en unidades de presión: megapascuales, kilogramos fuerza por centímetro cuadrado o newtons por milímetro cuadrado.

La adherencia en las fábricas depende de múltiples factores entre los que destacan:

a.- El tipo de conglomerante: es conocida la baja capacidad de adherencia de los morteros de cemento con carácter general y que los morteros de cal y, por ende, los mixtos, poseen una adherencia mayor que estos (Cabrera, 1995). Lo mismo sucede con el yeso (Del Río Merino, Cárceles Garralón, & González Cortina, 2002).

b.- La dosificación: a mayor riqueza de conglomerante con igualdad de otros condicionantes y sin ser un comportamiento lineal, mejora indirectamente la adherencia por incremento de la resistencia.

c.- El soporte: tanto la naturaleza como el estado del elemento de soporte (base) modifican la magnitud de la adherencia. Factores como la existencia de partículas sueltas, la naturaleza de la red de poros, la resistencia del propio soporte, su grado de fragilidad, etc., son algunos de ellos.

d.- El grado de humectación previa del soporte: este factor es fundamental cuando se trata de adherencia de materiales por vía húmeda con una base absorbente, como es el caso de las fábricas. Un soporte poroso demasiado seco absorbe el agua de amasado, deshidratando el mortero e impidiendo su fraguado. Si, por el contrario, con un exceso de agua se saturan los poros, no se producirá ninguna absorción desde los mismos y se perderá toda la adherencia mecánica que se genera al penetrar la lechada (la fracción más fina del mortero) por la red de poros de la base. El grado de humectación efectivo es aquel que impide la desecación de los morteros, pero admite la succión desde los poros del soporte.

e.- Presencia de sales en la fábrica: independientemente de la ubicación inicial de las mismas, que puede ser la masa de las piezas cerámicas, el agua de amasado u otros componentes del mortero, la precipitación de las sales en las interfaces y su inevitable capacidad expansiva rompe la adherencia existente.

En la actualidad no se ha elaborado una teoría unificada que contemple la conexión entre la adherencia, las propiedades físicas de los adhesivos y adherendos y las magnitudes obtenidas por los distintos ensayos que nos permiten cuantificarla (Instituto de Promoción Cerámica). Habitualmente se describen cinco mecanismos:

a.- Mecánico: se caracteriza por el acoplamiento mecánico entre el adhesivo y el adherendo y la capacidad humectante del adhesivo (tensión superficial). El mecánico, junto con un endurecimiento debido únicamente a la hidratación del conglomerante, es propia de los morteros sin modificar.

El acoplamiento mecánico depende a su vez de la textura o microrrugosidad del adherendo y de la porosidad/capilaridad del mismo en conjunción con la dinámica de penetración del adhesivo frente a esta red de poros y capilares, íntimamente relacionada con su viscosidad y su tensión superficial. En este último factor, el material adhesivo penetra los poros de las superficies a unir endureciendo en ellos y estableciendo enclavamientos.

Existen efectos fisicoquímicos que pueden alterar estos planteamientos, logrando buena adherencia entre materiales lisos y/o con baja porosidad o, al contrario, mala adherencia entre materiales muy porosos y/o rugosos.

b.- Químico: mediante una reacción que une los dos materiales originales en uno nuevo. Las uniones más potentes se producen por enlace iónico o covalente. Es más débil el enlace de hidrógeno, también conocido como puente de hidrógeno, que ocurre cuando un átomo de hidrógeno es enlazado a un átomo fuertemente electronegativo. Este átomo posee una carga positiva parcial y puede interactuar con átomos electronegativos de otra molécula. Cuanto mayor sea la diferencia entre la electronegatividad del hidrógeno y el segundo átomo interactuante, mayor será el efecto del enlace. El ejemplo más común de enlace de hidrógeno es la molécula de agua. Si no se dieran los enlaces de hidrógeno, el agua sería un gas a temperatura ambiente, como le ocurre al metano, el amoníaco y otros. Esto es debido a que los enlaces de hidrógeno en las moléculas de agua son especialmente fuertes, siendo el origen de las múltiples singularidades de esta molécula dipolar. La energía de las interacciones por enlace de hidrógeno, se encuentra en el entorno de los 5 a 30 kJ por mol. La adherencia química es la que se produce con adhesivos de resinas en dispersión y de reacción. El proceso de endurecimiento se debe a una reacción entre dos componentes inicialmente separados.

c.- Dispersivo: estos enlaces se producen debido a Fuerzas de Van der Waals. Se consideran fuerzas débiles. La calificación de débiles se debe a que la energía de las interacciones covalentes entre átomos se encuentra en el entorno de los 400 kJ por mol, siendo estas sustancialmente menores.

Son las fuerzas actuantes entre moléculas diferentes debidas al enlace covalente o a la interacción electrostática de iones con otros iones o con moléculas neutras. Están causadas por correlaciones en las polarizaciones fluctuantes o permanentes de partículas cercanas (dinámica cuántica), siendo más potentes, cuanto mayores son las moléculas intervinientes. Incluyen las siguientes:

.- Fuerzas de Keesom o interacción dipolo-dipolo: es una fuerza electrostática entre el extremo positivo de una molécula polar y el negativo de otra, altamente relacionado con el enlace de hidrógeno ya explicado. Varían de acuerdo con el factor $1/d^3$, por lo que solo son eficaces a distancias muy cortas. La energía de las interacciones se encuentra en el entorno de los 4 kJ por mol. Al aumentar la temperatura, se incrementa la energía de las moléculas por lo que también lo hacen sus movimientos; transicional, rotacional y vibracional, aumentando la aleatoriedad de las orientaciones entre los polos, por lo que se reduce la fuerza de las interacciones.

.- Fuerzas de London o de dispersión o interacción dipolo inducido-dipolo inducido: se presentan en todas las moléculas. Se producen como resultado de la atracción entre los polos positivo y negativo inducidos en moléculas adyacentes, ya sea por polarización accidental debida al movimiento de los electrones o por influencias externas. Son las más influenciadas por el tamaño de las moléculas ya que a mayor tamaño, mayor número de electrones, por lo tanto, mayor probabilidad de que se genere un dipolo instantáneo. La energía de las interacciones se encuentra en el entorno de los 0,05 a 40 kJ por mol.

.- Fuerzas de Debye, polarización electroquímica o interacción dipolo permanente-dipolo inducido: se comporta como una interpolación entre las fuerzas de Keesom y las de London.

d.- Electrostático: se produce cuando las dos superficies a adherir se encuentran sujetas a un campo eléctrico. En ese caso las cargas acumuladas en ambas superficies se atraen entre sí, originando una fuerza cuya intensidad depende de la distancia entre las superficies y la cantidad de carga disponible.

e.- Adsorción: la adhesión se produce a partir de los conceptos de ángulo de contacto, efecto de mojado y tensión superficial. Es la que se produce entre una gota de rocío y la superficie de la hoja de una planta. Cuando un adhesivo posee una tensión superficial menor a la de la superficie sobre la que actúa, se produce el mojado de la superficie, generando un ángulo de contacto inferior a 90° , provocando la adhesión. No existiendo ningún tipo de penetración entre las sustancias intervinientes.

En el caso de los morteros de juntas para fábricas de piezas cerámicas, el mecanismo de adherencia que más afecta es el mecánico. Con pequeñas aportaciones de la dispersiva una vez que el mortero ha endurecido.

La adherencia es la propiedad más determinante de un mortero en la ejecución de fábricas para hacer frente a las otras sollicitaciones que no son la pura compresión, ya que en este último caso la relación entre la resistencia del conjunto de la fábrica y la del mortero es mucho menor,

debiendo duplicarse la resistencia del mortero para que la resistencia de la fábrica se incremente un 10% (Fishburn, 1961). De ella depende el monolitismo, es decir, la capacidad de las fábricas para comportarse como un elemento único, no como uno complejo de diferentes elementos apilados.

Existen otras alternativas de mejora de la adherencia, aunque incluyen el uso de otros materiales, como los anclajes metálicos (San Bartolomé, Deza, & Quezada, 1997).

En cualquier caso, la adherencia está relacionada con el mantenimiento de las características de los morteros, por lo tanto, con su durabilidad (Prado Govea, Cereceda, Spairani, & Huesca Tortosa, 2009).

1.3.1.- CARACTERÍSTICAS Y FACTORES RELEVANTES EN LA ADHERENCIA

Sobre la adherencia influyen diferentes variables con diferente grado de complejidad, lo cual impide determinar con exactitud la influencia de cada una de ellas. A continuación, se desglosan en función de los diferentes elementos intervinientes, fases del proceso, factores determinantes y buenas prácticas posibles. Separándolo en cuatro apartados: la interfase mortero-pieza cerámica, el mortero, las piezas cerámicas y el proceso de ejecución.

1.3.1.1.- Interfase mortero-pieza cerámica

La acción adherente en las fábricas, que produce la cohesión monolítica de la fábrica y la permanencia de los revestimientos sobre sus soportes correspondientes, se explica mediante el llamado mecanismo adherente (Rodríguez-Mora, 2004).

El proceso de adherencia mecánica entre un mortero y las piezas que une en una fábrica consta de tres fases:

a.- Succión: del agua del mortero por parte de las piezas que conforman la fábrica. Esto se produce desde el mismo momento en el que se ponen en contacto hasta que el proceso de fraguado del mortero se ha verificado en un grado determinado, o bien que la cantidad de agua del mortero se reduzca por debajo de un índice crítico que impide la circulación de esta entre el interior de la masa del mortero y la superficie en contacto con la pieza. La duración es muy variable en función de los materiales intervinientes, pero puede llegar a ser de horas.

b.- Arrastre: del conglomerante con el agua que se introduce en los poros de las piezas que forman parte de la fábrica.

c.- Fraguado: del conglomerante en los poros colmatados, formando cristales, provocando los anclajes entre el mortero y las piezas.

Las estrategias básicas para incrementar la capacidad adhesiva son incrementar la cantidad de cemento, asegurando su penetración en los poros; adicionar formulaciones adhesivas, añadiendo al efecto mecánico el químico; incrementar el flujo de agua, asegurando la cantidad adecuada en el amasado, usando aditivos retenedores de agua y humectando las piezas cerámicas con anterioridad a su contacto con el mortero.

1.3.1.2.- Adherencia en función de las características del mortero

Con respecto al mortero, el primer factor esencial es la superficie adherente, ya que la adherencia es directamente proporcional a la superficie de contacto. Otro es la trabajabilidad, cuya definición es compleja ya que tiene un alto componente subjetivo. Pero se pueden definir tres factores objetivos que inciden sobre la misma (Rodríguez-Mora, 2004):

a.- La consistencia: el estado plástico del mortero tiene una relación directa con la trabajabilidad posible.

b.- La retención de agua: la pérdida del agua de amasado baja la trabajabilidad de la masa del mortero y además reduce la posibilidad de generación de anclajes en la red de poros.

c.- El tiempo de uso: durante el periodo de uso del mortero se deberá garantizar que las propiedades del mortero no se ven afectadas.

Las estrategias básicas de mejora, en relación a estos factores, son: el uso de una consistencia plástica para garantizar la extensibilidad de la masa, mejorar la retención de agua con el uso de arenas finas y de baja absorción, utilizar conglomerantes con gran finura de molido, utilizar aditivos plastificantes y adiciones que aporten finos (cenizas volantes). Finalmente aumentar el tiempo de amasado mediante aditivos retardantes.

1.3.1.3.- Adherencia en función de las piezas cerámicas

Los factores relativos a las piezas cerámicas que influyen en el proceso de adherencia son:

a.- Succión: está directamente relacionada con el número de poros, pero es muy variable dependiendo de la estructura de la red de poros, de forma que dos materiales con succiones parecidas no tienen por qué tener adherencias similares entre ellos y un mismo mortero.

b.- Tiempo de absorción: las redes de poros con bajo efecto de capilaridad, aquellas en la que los poros presentan diámetros superiores a las 5 micras, no favorecen la adherencia ya que capturan agua libre de la superficie del mortero, pero no son capaces de succionar lechada.

c.- Superficie: es importante la textura de la superficie. Las texturas más rugosas aumentan la adherencia. La anfractuosidad de las caras, en el caso de piezas irregulares como las rocas, o los dibujos como en el caso del listado de las caras de las piezas cerámicas, favorecen la adherencia. También la superficie de contacto, una pieza cerámica perforada en la que el mortero se puede introducir en las perforaciones, logra no solo un mayor anclaje mecánico (cuando endurece), sino una mayor superficie de contacto, lo que *a priori* implica una mayor potencialidad de anclajes en la red de poros.

Las estrategias básicas de mejora de la adherencia en relación a las piezas cerámicas, se citan a continuación. Para piezas de alta succión, vigilar especialmente la humectación del soporte cerámico previamente a la aplicación del mortero. Para piezas de baja adherencia, utilizar adiciones que la mejoren. Para incrementar el tiempo de absorción, aumentar el agua de amasado. También, como se dijo anteriormente, utilizar piezas con las caras rugosas y las que aumentan la superficie de contacto. Por esta razón, las piezas cerámicas perforadas son preferibles a las macizas. Por último, generar anclajes mecánicos para el mortero de revestimiento permitiendo que, durante la ejecución de las fábricas, las juntas no queden completamente rellenas.

1.3.1.4.- Proceso de ejecución

Los factores relevantes de cara a la adherencia correspondientes al proceso de ejecución son los siguientes:

a.- Preparación del mortero: debe cuidarse especialmente este proceso.

b.- Humectación de las piezas: cuya importancia ha sido ya explicada.

c.- Tiempo de colocación: la superación del tiempo de uso provoca problemas.

d.- Forma de colocación: un aspecto fundamental del momento de la colocación es la presión de asentado.

Las estrategias que mejoran la adherencia en relación al proceso de ejecución son las siguientes: en relación a la preparación, el mortero deberá estar perfectamente mezclado, presentando un aspecto homogéneo sin indicios de exudación; asimismo se debe evitar la pérdida de agua por evaporación y, sobre todo cuando esto sucede, prohibir el reamasado.

En referencia a la humectación de las piezas, la forma mejor y más habitual de lograr la medida adecuada, es saturar las piezas con tiempo suficiente, dejándolas secar después superficialmente para mantener esa succión mínima (San Bartolomé et al., 1997).

Con respecto al tiempo de colocación, el mortero deberá utilizarse lo antes posible desde el momento de su amasado, ya que desde ese momento se comienza a producir la reacción química que devendrá en el fraguado de la mezcla. El calor de hidratación incrementa el valor natural de pérdida de agua por evaporación. Esto afecta a la trabajabilidad de la mezcla alterando la plasticidad. Para que la mezcla se encuentre siempre en buenas condiciones, lo recomendable es amasar la cantidad necesaria para que se consuma completamente dentro de su tiempo de uso.

En cuanto a la forma de colocación, las piezas deben ser colocadas de una sola vez. La retirada y recolocación de las piezas corta el proceso de penetración de lechada en los poros que, al estar parcialmente colmatados, pierden la capacidad de capilaridad por lo que el proceso no continuará si se reubica. Cuando se presiona la pieza colocada, aplasta el mortero que la recibe logrando dos efectos. Primero se facilita el proceso de capilaridad, por lo que se mejora el relleno de los poros mediante la lechada del mortero, incrementando el número de anclajes futuros. En segundo lugar, se asegura el contacto de toda la superficie con el mortero y en el caso de piezas con perforaciones la penetración de la mezcla a través de las mismas. Para los morteros de revestimiento, este efecto se logra mediante el *repretado* con la llana. Los ensayos realizados por la AFAM (Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero), determinan que la sección crítica suele encontrarse en la interfase entre el tendel y la pieza superior (Rodríguez-Mora, 2004). Para ello es determinante la adecuada succión de agua de la pieza superior sobre el mortero en el que apoya y para ello es sustancial la presión de asiento cuando se coloca la pieza.

Cuando los morteros son de revestimiento y se aplican en varias capas, afectan extremadamente las relaciones existentes entre las diferentes capas (Sainz de Cueto Torres & Menéndez de Llano Núñez, 1998).

Grosso modo, existen dos vías de incremento de la adherencia. La primera es la referida a las buenas prácticas, la vigilancia y respeto a aquellas actividades del proceso en las que la calidad de la práctica se relaciona directamente con la mejora del resultado. La segunda es la adición de sustancias que modifican el comportamiento de los morteros, designadas normativamente como adiciones y aditivos. Son aditivos aquellos productos que se incorporan al mortero en una proporción máxima del 5% en relación al peso del cemento. Las adiciones son materiales inorgánicos puzolánicos o con hidraulicidad latente, finamente divididos, que mejoran las propiedades del mortero. Normativamente solo se contemplan la ceniza volante hasta un máximo del 35% del peso del cemento y el humo de sílice hasta un 10%.

En esta investigación se va a seguir esta segunda vía, utilizando la adición de sustancias que mejoran la adherencia. Se utiliza el término adición en un sentido meramente aritmético, soslayando la dicotomía normativa, ya que

superando el 5% ya no podrían ser considerados aditivos y tampoco se añaden estos productos en la composición del cemento sino al amasar el mortero.

2.- ESTADO DE LA CUESTIÓN

Hasta la aparición del cemento postindustrial, los conglomerantes disponibles eran, como se ha visto, la cal y el yeso. Ambos poseen una excelente adherencia, debido fundamentalmente a enlaces químicos en el caso de la cal y físicos en el maclado del yeso.

Sin embargo, el uso del cemento tiene dos perjuicios en comparación con los otros conglomerantes. El primero es la pérdida de adherencia. El segundo, muy importante, pero que no es objeto de esta investigación, es la falta de sostenibilidad.

Hay unidades de obra en las que la adherencia es fundamental. Son todas aquellas relacionadas con acabados sobre muros; un enfoscado, un revestimiento pétreo, un alicatado, etc. Debido al efecto de la gravedad, requieren de un buen comportamiento a tracción del material adhesivo que no es otro que el mortero.

A continuación, se resumen las aportaciones de los trabajos más relevantes hallados, analizando en primer lugar los que tratan de la propia adherencia. Posteriormente se hace lo propio con cada uno de los productos que actualmente se comercializan como aditivos y que podrán usarse para mejorar la adherencia.

2.1.- ESTUDIOS SOBRE LA ADHERENCIA

Hace veintiséis años Rodríguez et al, realizaron un trabajo cuyos resultados se publicaron en el artículo "Estudio de la adherencia piedra-mortero" (Rodríguez García, Pereda Marín, Polo Velasco, & Barrios Sevilla, 1994). La razón del estudio se justificaba, concretamente, en la falta de adherencia del mortero de cemento Portland. Publicaciones de referencia anteriores no tratan en absoluto la adherencia (Fishburn, 1961) o lo hacen superficialmente (Arredondo, 1967) (Orús Asso, 1985), o más recientemente, la tratan como algo que debe ser logrado, sin entrar en la forma de conseguirlo (Rosa Roca, 2012).

En el estudio de Rodriguez et al. (1994), se utilizaron morteros con dosificaciones 1:3, 1:5, 1:7 y 1:9, y varios tipos de soporte de piedra: distintos granitos, calizas y mármol. Uno de los morteros estaba mejorado con látex y se daba como valor límite del ensayo de adherencia 0,3 N/mm². Se definieron como conclusiones la recomendación de usar el mortero 1:3 que daba resistencias más altas en todos los casos; que el mortero mejorado con látex daba valores muy altos en casi todos los casos (el granito rosa arroja valores bajos). Finalmente, afirmaban que no existía una relación entre la adherencia y la absorción de los soportes de piedra.

Un año después Cabrera (1995), publica los resultados de otro trabajo "La adherencia en los morteros de albañilería". En el estudio se utilizaron cuatro tipos de cementos, cal aérea y DPA (tipo de cal subproducto de la extracción del acetileno). También cuatro tipos de árido, a saber; arena artificial lavada, arena de playa lavada, polvo de piedra y una marga calcárea pulverulenta con un contenido de arcilla inferior al 15%. Observó que las dispersiones eran grandes y lo achacó a que los valores medidos eran pequeños. Concluyó que los morteros con mejor adherencia son los que tienen mayor concentración de conglomerante, lo cual podría indicar que el factor fundamental de adherencia es mecánico. Asimismo, que los áridos más gruesos alcanzan resistencias mal elevadas.

Sainz de Cueto y Menéndez de Llano (1998), publicaron los resultados de un estudio de adherencia de morteros de cal. En sus conclusiones ponderaron la norma *UNE 83822:1995 Ex. Morteros. Métodos de ensayo. Morteros endurecidos. Determinación de la adherencia de los morteros de revoco y enlucido*. Sin embargo, también afirmaron que, para realizar el trabajo, necesitaron desarrollar métodos complementarios (Sainz de Cueto Torres & Menéndez de Llano Núñez, 1998).

Los chilenos Barrera, Morales y Quiroz (2007), presentaron los resultados de su trabajo "Alternativas innovadoras para mejorar la adherencia mortero-ladrillo cerámico". Las alternativas innovadoras son cuatro: adición de cuarzo puro e impuro, inmersión de las piezas cerámicas en agua de cal previamente a su uso y la utilización de un aditivo químico comercial específico para mejorar la adherencia llamado Cave Acryl, a base de polímeros acrílicos. Cabe destacar que una de las premisas sobre las que basaron el trabajo, y que interesa en esta investigación, fue desprestigiar la acción química de adherencia frente a la mecánica, por considerarla muy débil. Otros factores fundamentales de la adherencia considerados fueron: la interacción hídrica entre mortero y pieza cerámica, la retentividad, la consistencia, la composición del mortero y la calidad de la mano de obra durante la ejecución (Barrera, Morales, & Quiroz, 2007).

Los resultados obtenidos mostraron que el aditivo comercial incrementó un 7% la adherencia, mientras que sumergir las piezas cerámicas en agua de cal resultó indirectamente positivo, mejorando la resistencia y subsecuentemente la adherencia. Los mejores resultados se obtuvieron añadiendo un 7% de cuarzo puro, de lo que resulta un 70% de incremento de la adherencia. En contra de su premisa inicial, hallaron que en la adherencia participan procesos químicos complejos no considerados hasta la fecha. Constataron que la consistencia del mortero (indirectamente trabajabilidad) y la calidad de la mano de obra durante la ejecución son básicas en la generación del área de contacto, por lo que son factores sustanciales del incremento de la adherencia.

Un año más tarde, Felixberger de la empresa BASF, publicó un documento técnico sobre adhesivos de capa delgada modificados con polímeros (Felixberger, 2008). Este tema es lateral con respecto al objeto de esta tesis, no obstante, hay datos que presentan interés. Se afirma que los principales beneficios que los aditivos poliméricos redispersables aportan a las masas son: mayor trabajabilidad, mayor flexibilidad y mejor adherencia; que el incremento de flexibilidad permite reducir la tensión de cizalladura; manifiesta la necesidad de más ensayos sobre cizalladura; y finalmente, Refleja los mínimos de adherencia necesarios según la DIN-EN 12004:2007. Actualmente esta norma, transpuesta, se corresponde con la *UNE-EN 12004-1:2017 Adhesivos para baldosas cerámicas. Parte 1: requisitos, evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones, clasificación y marcado*. En ella se establecen, como límites mínimos de resistencia de adherencia, los siguientes valores:

I.- Adhesivos de fraguado normal; C1 – 0,5 N/mm², C2 – 1,0 N/mm².

II.- Adhesivos en dispersión; D1 – 1,0 N/mm².

III.- Adhesivos de resinas reactivas; D1 – 2,0 N/mm².

2.2.- ESTUDIOS SOBRE LAS ADICIONES

Las adiciones utilizadas para mejorar la adherencia de los investigadores estudiados en los textos precedentes han sido: látex, cuarzo, polímeros y polímeros acrílicos.

En la documentación disponible a este respecto aparece un producto que cobra un protagonismo elevado, cual es el metacaolín.

A continuación, se describen algunos de los estudios realizados con ellos.

2.2.1.- LÁTEX – POLÍMERO ACRÍLICO

El látex sintético es una clase de elastómero polímero. Los elastómeros se caracterizan por una gran capacidad de deformación elástica. Se sintetizó por primera vez en 1909 en Alemania polimerizando metil isopreno.

El látex sintético es, con diferencia, la adición de las estudiadas en este trabajo, más utilizada y, sin embargo, se han encontrado pocos trabajos de investigación sobre él. Los látex poliméricos se usan habitualmente en morteros y hormigones de cemento (Ohama, 1998). El látex es capaz de formar películas flexibles y homogéneas al deshidratarse.

El primer estudio del que se dispone es el cuaderno de trabajo 179 del National Cooperative Highway Research Program, "Látex-Modified Concretes and Mortars" de V. Ramakrishnan et al (1992). Según este estudio la primera patente de uso de látex natural en morteros y hormigones es de 1923 y la primera de látex sintético, de 1932. También establece una

clasificación de los polímeros y monómeros que se utilizan como modificadores de los morteros (imagen nº 2). Los látex poliméricos, pueden ser elastoméricos, termoplásticos, termoestables, bituminosos y combinación de los anteriores.

Imagen nº 2.- Clasificación de modificadores adhesivos de morteros. Fuente: V. Ramakrishnan.

Después, Rodríguez García et al (1994) incorporó látex en los morteros utilizados, dando unos resultados mecánicos y de adherencia muy elevados en casi todos los casos (Rodríguez García et al., 1994).

En 1997, Winnik, publicó un artículo sobre los avances del estudio del látex, revelando tres avances producidos en aquel momento gracias a la microscopía electrónica y las técnicas espectroscópicas. En primer lugar, en cuanto al secado, comprendiendo la forma en la que el agua se evapora de una dispersión húmeda de látex. La segunda, en cuanto al proceso de compactación, que permite la formación de una película libre de huecos. La última, en cuanto a la difusión de polímeros, la formación de las películas de látex estructurado (Winnik, 1997).

Rosignolo et al. (2002), publicaron un artículo titulado “Mechanical properties of polymer-modified lightweight aggregate concrete” donde concluyen que el uso de látex mejora la trabajabilidad y la resistencia mecánica.

En 2015, Joo et al., publican un artículo titulado “Evaluation of properties of polymer-modified mortar with CSA”, que afirma que el látex aumenta la resistencia mecánica de los morteros, reduce la absorción de agua, la permeabilidad y aumenta la durabilidad (Joo & Lho, 2015). Ese mismo año otros trabajos concluyen igualmente con respecto a la resistencia mecánica del látex (Wang & Zhang, 2015).

En 2020, un trabajo de Ke Zhong et al., sobre contenidos recomendables de látex, concluyó que el contenido óptimo era del 1,2%. Contenidos superiores

mejoran sus propiedades con un ápice en 2,4%, pero a costa de perder trabajabilidad (Zhong, Sun, Zhang, Qin, & Li, 2020).

2.2.2.- RESINAS SOLUBLES – COPOLÍMERO DE ESTIRENO-BUTADIENO

Otra forma de látex sintético son los copolímeros de estireno-butadieno. Se desarrollaron también en Alemania, en 1935. Un copolímero es un polímero fabricado a partir de dos monómeros que se alternan en la cadena molecular. Los copolímeros de estireno-butadieno son clasificados dentro de los látex elastómeros, bajo la definición látex SBR (Styrene-Butadiene Rubber). Su funcionamiento es similar a cualquier otro, en cuanto a la capacidad de formar películas flexibles y homogéneas (Baueregger, Perello, & Plank, 2014).

Al igual que ocurría con el látex de polímero acrílico se han encontrado pocos estudios de calidad científica, sobre copolímero de estireno-butadieno.

Como en el producto anterior, el primer estudio del que se dispone es el cuaderno de trabajo 179 de V. Ramakrishnan (Ramakrishnan, 1992). Este estudio afirma que los látex SBR aportan a los morteros modificados durabilidad, mejores prestaciones y los abaratan.

En 2004, Barluenga et al, en su trabajo "SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour", afirman que el uso de estos copolímeros disminuye la porosidad de los morteros (Barluenga & Hernández-Olivares, 2004). Un año después, Rozenbaum et al., realizaron un estudio bajo el título "An experimental and mesoscopic lattice simulation study of styrene-butadiene latex-cement composites properties", concluyendo lo mismo (Rozenbaum, Pellenq, & Van Damme, 2005).

Wang et al. (2009), en su trabajo "Physical properties of SBR latex-modified mortar under different curing conditions", afirma que el uso de SBR reduce la absorción de agua de los morteros modificados así como la permeabilidad (Wang & Wang, 2009).

En el año 2017, el Instituto de promoción cerámica de Castellón, publicó un documento que versaba sobre los morteros modificados con polímeros. En el mismo se afirma que la característica en la que los morteros modificados con polímeros son superiores a los tradicionales, es la adherencia. También presentan contracciones más pequeñas durante el secado y la maduración, menor porosidad y menor tamaño de los poros, que redundan en una mayor impermeabilidad y durabilidad. Logran anclajes sobre superficies poco porosas, mejorando la respuesta ante esfuerzos con componentes de tracción, la flexión y el impacto. Estas propiedades proceden de la cohesión alcanzada en la comatriz entre el polímero y las partículas de cemento hidratadas. Finalmente afirmaba que las resinas de mayor difusión comercial

son las emulsiones de estireno-butadieno (Instituto de promoción cerámica, 2017).

En este mismo sentido, en 2018 un estudio realizado por Lin Li et al., se centró en investigar la influencia de diferentes tipos de látex y porcentajes en morteros de sulfoaluminato de calcio. Midieron el tiempo de fraguado, las propiedades mecánicas, la contracción, la pérdida de peso, la adsorción capilar de agua, así como propiedades relacionadas con la durabilidad; la resistencia al ciclo de congelación-descongelación, la carbonatación y el ataque por sulfatos. Los resultados mostraron que el látex, en general, produce mejoras físico-mecánicas y de durabilidad en los morteros analizados. Entre los tipos de látex analizados, los autores del estudio destacan que el copolímero de estireno-butadieno es el que mejores propiedades aporta (Li, Wang, & Lu, 2018).

2.2.3.- METACAOLÍN

El metacaolín es un aluminosilicato activado por calcinación del caolín, con elevadas propiedades puzolánicas. La calcinación se produce por encima de los 500 °C.

El primer estudio sobre el uso del metacaolín en las mezclas con cemento Portland fue de Murat en 1983, concluyendo brevemente, que la hidraulicidad del metacaolín era muy buena y que mejoraba la resistencia mecánica de las mezclas, a la vez que se aprovechaba el residuo de calcinación del caolín comercial, recogido en los lechos de los hornos de producción (Murat, 1983).

En 1990, de Silva estudió el comportamiento de las mezclas en los periodos iniciales de hidratación utilizando metacaolín, concluyendo que el comportamiento era satisfactorio (Silva & Glasser, 1990).

En 1997 Baronio y Binda, publicaron un estudio sobre la puzolanicidad de las piezas cerámicas y arcillas. Este artículo, también lateral con respecto al tema de esta tesis, aporta dos puntos relevantes. El primero es que se usó chamota y para mejorar su hidraulicidad se sumergió en agua de cal. El segundo es el de presentar el metacaolín como adición del mortero de cemento. Dataron el comienzo de la producción de metacaolín en los años 60 del siglo pasado. En el estudio de la chamota cabe destacar la tesis doctoral de González Cortina (González Cortina, 2000). Diez años después Barrera et al., utilizarían la misma solución del agua de cal.

En el año 2000, Frías y Sánchez de Rojas publican un artículo sobre la mejora de las propiedades de los morteros de cemento Portland, utilizando metacaolín como adición. Concluyeron que el uso del metacaolín provoca un aumento de la porosidad total de los morteros, sin embargo, las pastas con más de un 10% de adición de metacaolín, presentan una red porosa

capilar inferior a la del mortero de referencia. Recomendán, por esta razón, añadir un mínimo del 15% de metacaolín para obtener morteros con gran microporosidad de gel (Frias & Sánchez de Rojas, 2000).

En 2002, Helene y Siervi Lacerda, presentan su segundo informe de investigación sobre la actuación del metacaolín como adición de hormigones de cemento Portland. Concluyeron, que el metacaolín representa una opción interesante para incrementar la calidad y la durabilidad, a la par que permite un ahorro de producción en las mezclas con cemento Portland. Sin embargo, en su estudio no se midió la adherencia (Helene & Siervi Lacerda, 2002).

Un año después Courard et al, de la Universidad de Lieja, publicaron una nota técnica sobre la durabilidad de los morteros modificados con metacaolín. En este caso con la adición de metacaolín reemplazaron entre un 5 y un 20% del cemento Portland. Concluyeron que la adición entre un 10 y un 15% aporta una mayor trabajabilidad, mejor comportamiento mecánico, así como inhibición de la difusión de cloruros y del ataque por sulfuros (Courard et al., 2003).

En 2005, Bonakdar, Bakhshi y Ghalibafian, de la Universidad de Terán, publicaron una nota técnica sobre las propiedades del hormigón de alta resistencia adicionado con metacaolín. Su intención fue comprobar el comportamiento del hormigón con metacaolín en lugar del humo de sílice para lograr hormigones de alta resistencia. Para ello reemplazaron el cemento Portland en las proporciones de 5, 10 y 15%. Concluyeron que, en cuanto a la alta resistencia, tanto el metacaolín como el humo de sílice, aportaban similares características. Sin embargo, el metacaolín mejoraba la trabajabilidad y la durabilidad de las mezclas. Los porcentajes que mejor les funcionaron fueron, como en el caso de Courard, el 10 y el 15%. Una novedad de este estudio es que observaron un aspecto superficial estéticamente mejor, en los hormigones adicionados con metacaolín frente a los adicionados con humo de sílice, por lo que lo proponen para los hormigones cara vista (Bonakdar, Bakhshi, & Ghalibafian, 2005).

Un año más tarde, Frías et al, del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, publican un artículo sobre el uso de metacaolín con la particularidad de que este es obtenido de los residuos de la industria papelera. Concluyeron que el metacaolín reciclado se comporta de forma análoga al obtenido directamente de la caolinita. Añadieron que su blancura y brillo lo hacen apropiado para mezclar con cemento blanco y lograr hormigones vistos blancos. Finalmente, establecieron en el 10% el porcentaje de adición que mejor funciona (Frías Rojas et al., 2006).

En el mismo año, Mejía de Gutiérrez et al, publicaron un estudio que redunda en la mejora de la durabilidad de las mezclas, estableciendo un límite del

20% para la adición dado que observaron un descenso de las resistencias mecánicas si se superaba (Gutiérrez, Torres, & Delvasto, 2006).

Ese mismo 2006, Restrepo et al, publican su estudio sobre los efectos de la adición de metacaolín. El artículo recapitula las investigaciones anteriores incluyendo la comparación de igual o mejor comportamiento con el humo de sílice, añadiendo esta vez las cenizas volantes. Introduce también un pormenorizado estudio de las reacciones químicas que se producen en el seno de la masa adicionada. Advierte de que la producción de granates, consecuencia de la inestabilidad de la gehlenita, en las fases de curado entre 20° y 50° C, produce una reducción de volumen que incrementa la porosidad (Restrepo Gutiérrez, Restrepo Baena, & Tobón, 2006).

Múltiples investigaciones entre 2008 y 2011 se centraron en la mejora de la resistencia al ataque químico de la que el metacaolín dota a las mezclas; Torres et al. (2008); Tróchez et al. (2010); Abbas et al. (2010); Enfedaque et al. (2010); Torres et al. (2011).

En el año 2010, Sepulcre y Hernández-Olivares en el artículo que publican en la revista *Cement and Concrete Research*, describen la formación de hidrogranates en el seno de morteros de cal, adicionados con metacaolín y sepiolita. Concluyeron que la proporción de agua es determinante en la selección de la producción de fase hidráulica en morteros mixtos de metacaolín y cal. Un leve aumento del 1,5 al 1,7 de la proporción de agua, provoca la completa sustitución de los silicatos por hidrogranates. Además, la proporción de metacaolín o la temperatura de curado no afecta a la composición de los hidrogranates, pero es determinante en la cantidad, de ellos que se forma, no estando influenciados por el consumo de portlandita (Sepulcre Aguilar & Hernández Olivares, 2010).

El año siguiente, Escalante et al, publicaron un estudio sobre sustitución de cemento Portland con metacaolín de baja pureza. Entre sus conclusiones, escribieron que la temperatura más adecuada para fabricar metacaolín es de 750° C, habiendo ensayado con un rango entre 550 y 1050° C. Establecieron el porcentaje de sustitución máximo en el 30% y describieron una reducción de la microporosidad de la matriz en presencia del metacaolín (Escalante, Navarro, & Gómez, 2011).

En 2012, Garg et al, publicaron su estudio sobre la sustitución del cemento Portland por metacaolín o cenizas volantes en las mezclas. Para su estudio utilizaron varios de los metacaolines existentes en el mercado, como el Metamax. Concluyeron que frente a otros productos comerciales a base de metacaolín, el Metamax presentaba el comportamiento puzolánico más reactivo, tanto a edades iniciales como después de los 28 días (Garg & Wang, 2012).

En 2014, Yusuf et al, publicaron los resultados de un estudio sobre la adición mezclada de metacaolín, cenizas de combustible de aceite de palma rico en sílice (POFA) y geopolímeros (cementos activados alcalinamente). El objetivo fue el abaratamiento por sustitución de clinker en la fabricación de cementos unido al confinamiento de CO₂. Concluyeron que el mortero adicionado con geopolímero y metacaolín poseía unas prestaciones menores que el que se encuentra adicionado con los tres productos (Yusuf, Ismail, Usman, & Noruzman, 2014).

En esta última línea, un año después, Vizcaíno et al, publican los resultados sobre su investigación para producir cementos bajos en clinker y bajos en generación de CO₂. La solución aportada se basa en sistemas ternarios de clinker, arcillas calizas y calizas calcinadas (metacaolín), que aumenta la reactividad de los materiales cementosos suplementarios (SCM). Concluyen que las alternativas son viables y que la sustitución de hasta un 50% de clinker en la fabricación es posible. Estiman que esto podría reducir las emisiones de CO₂ en la fabricación de cemento en un 35% (Vizcaíno Andrés, Sánchez Berriel, Damas Carrera, Scrivener, & Martirena Hernández, 2015).

El año 2017 es prodigo en la investigación sobre el metacaolín, con múltiples publicaciones.

Chorzepa et al, publicaron un informe sobre la sustitución de cemento con combinaciones de metacaolín y escorias en la fabricación de hormigones. Concluyeron que de las posibles tres sustituciones; metacaolín, escorias y ambas a la vez, la que mejor funcionó fue la de metacaolín. Las proporciones óptimas de sustitución las fijaron entre el 10 y el 15% de metacaolín (Chorpeza, Durham, & Sullivan, 2017).

Geng y Li, publicaron su artículo sobre absorción de agua y productos de la hidratación de los morteros modificados con metacaolín. Concluyeron que el metacaolín mejora la resistencia a compresión a partir de los siete días y no antes, debido a la reducción de la red de poros por efecto de la puzzolanidad, asimismo reduce la absorción de agua, especialmente a edades tempranas, debido a la presencia de las partículas superfinas del metacaolín. Sin embargo, no pudieron establecer ninguna relación entre la resistencia a compresión y la absorción de agua. Finalmente, encontraron que los productos de hidratación, sin aportación de metacaolín, son la portlandita y la etringita, mientras que, si se adiciona metacaolín, a estas hay que añadir tobermorita y gehlenita que en ocasiones se transforman en hidrogranates (Geng & Li, 2017). Esta observación ya había sido descrita por Restrepo et al (2006) y Sepulcre et al (2010).

Harbi et al, publicaron los resultados de su estudio sobre la sustitución de árido por caolín al 5%, combinado con la adición sustitutiva de metacaolín, chamota y polvo de cristal. El objetivo era buscar morteros resistentes al ataque por sulfatos. Concluyeron que la mejor opción es el metacaolín al

25%, incrementado la resistencia mecánica, la durabilidad, disminuyendo la porosidad y la absorción de agua. Resultados todos ellos que minimizan los ataques químicos (Harbi, Derabla, & Nafa, 2017).

Torres y Puertas, publican un estado de la cuestión de los cementos alternativos al Portland; aluminosilicatos y geopolímeros. Los propiamente aluminosilicatos son el metacaolín y las cenizas volantes, silicato es el humo de sílice. Las escorias pertenecen al grupo de los activados alcalinamente con altos contenidos de Ca. El desarrollo de cementos alternativos tiene su justificación en reducir la emisión de gases contaminantes, fundamentalmente el CO₂, ya que el sector cementero es el responsable del 5-7% de las emisiones de este gas a nivel mundial (Torres Carrasco & Puertas, 2017).

Por último, Yaguatin et al, publicaron un artículo de similares intenciones, pero centrado en la activación de arcillas caoliníticas. Justificaron su oportunidad en el hecho de que, como puzolanas, mejoran las propiedades físicas y químicas de las mezclas y ayudan a reducir costes, en general. Como arcillas calcinadas, acompañan a estas ventajas las de incrementar su resistencia mecánica y durabilidad. Sin embargo, los resultados publicados por los diferentes autores, presentan una elevada variabilidad (Yanguatin, Tobón, & Ramírez, 2017).

Como conclusiones parciales, se puede decir que, en los numerosos estudios recopilados, el metacaolín obtiene siempre buenos resultados, en cuanto a resistencia mecánica y durabilidad, debido, entre otras cosas a su marcada hidraulicidad. Sin embargo, la adherencia nunca es un parámetro comprobado.

Han sido numerosos los estudios encontrados acerca de la incorporación de productos como modificadores de los morteros de cemento Portland. De entre ellos destacan aquellos de la familia de los látex artificiales, concretamente los polímeros acrílicos y los copolímeros estireno-butadieno.

3.- OBJETIVOS

3.1.- OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta tesis es demostrar que es posible encontrar en el mercado español productos comercializados en la actualidad, económicos, cuya interacción química con las fases del cemento, permitan mejorar la adherencia de los morteros.

3.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS

Para el logro del objetivo general se han marcado unos objetivos específicos, que se centran en los mecanismos de mejora, los productos a utilizar y los ensayos a realizar para constatar la mejora buscada.

Objetivo 1.- Determinar los factores que afectan a la adherencia entre morteros y piezas cerámicas.

Objetivo 2.- Seleccionar los productos adecuados como base de los morteros y qué adiciones utilizar para mejorar la adherencia, con el mayor aprovechamiento en el plano práctico.

Objetivo 3.- Establecer el número y las dosificaciones más adecuadas para abarcar la casuística suficiente.

Objetivo 4.- Establecer las proporciones de cada uno de los productos elegidos como adiciones.

Objetivo 5.- Establecer, si procede, los motivos por los que se cumple la hipótesis.

Objetivo 6.- Evaluar económicamente la utilización de los productos elegidos.

4.- MÉTODOLOGÍA

La metodología a seguir, en función de los objetivos específicos, se relaciona a continuación.

Objetivo 1.- Determinar los factores que afectan a la adherencia entre morteros y piezas cerámicas.

Se procederá al estudio de la bibliografía sobre la adherencia de los morteros y las posibilidades de mejora de la misma. Las fuentes documentales serán de muy diversa procedencia, con un evidente desequilibrio entre las anteriores al siglo XX y las posteriores a este en cuanto a cantidad y a nivel tecnológico. Se acudirá tanto a las publicaciones formales e incluso docentes que sean necesarias, haciendo hincapié en las últimas publicaciones de documentos, en forma de tesis, artículos, ponencias en congresos, que reflejen con fidelidad el lugar en que se sitúa el conocimiento de cada uno de los aspectos relevantes para el satisfactorio fin de este trabajo.

Objetivo 2.- Seleccionar los productos adecuados como base de los morteros y qué adiciones utilizar para mejorar la adherencia.

Seleccionando del corpus de los estudios previos a este, la información que permita establecer un punto de partida sólido, para el análisis de los aspectos que se revelen preponderantes y así juzgar la bondad de las mezclas objeto de este estudio. Para ello se ha desarrollado un Plan Experimental cuya primera fase es establecer y caracterizar los productos que se van a utilizar, tanto en la base de los morteros como en las adiciones. Es necesario, no solo conocer con que productos se ha trabajado anteriormente, sino también buscar en el mercado las formulaciones disponibles.

a.- Materiales elegidos: atendiendo al objetivo principal de la tesis, que sea lo más aplicada posible, se trabajará replicando lo más fielmente posible las condiciones de la práctica de la albañilería, es decir, utilizando un árido comercial y cemento de tipo II (cemento Portland con adiciones), que por tres razones fundamentales es el que se utiliza para morteros de albañilería.

La primera es que su precio es menor que el de tipo I (cemento Portland con un 95% de clinker). La segunda es su bajo calor de hidratación que permite su uso en las unidades de albañilería en tiempo caluroso, propio de una parte sustancial del año en la Península Ibérica. La tercera es que su composición lo hace más trabajable. En concreto, para esta investigación se ha elegido el cemento CEM II/B-M (P-L) 32,5 N, recomendado por los fabricantes para el mortero de albañilería ordinario. Posee la composición que se refleja en la tabla nº 1, según norma UNE-EN 197-1:2011 Cemento.

Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

<p>Composición en masa: Clínker: 65-79% Adiciones: 21-35% Componentes minoritarios: 0-5% Estos valores se refieren al núcleo del cemento con exclusión del sulfato de calcio y de cualquier aditivo.</p> <p>Exigencias químicas: Sulfato $\leq 3,5\%$ Cloruros $\leq 0,10\%$ Cromo (VI) soluble en agua ≤ 2 ppm.</p> <p>Exigencias mecánicas: Resistencia a compresión a 7 días ≥ 16 MPa. Resistencia a compresión a 28 días $\geq 32,5$ MPa. $\leq 52,5$ MPa.</p> <p>Exigencias físicas. Inicio de fraguado ≥ 75 minutos. Expansión (Le Chatelier) ≤ 10 mm.</p>
--

Tabla nº 1.- Composición del cemento CEM II/B-M (P-L) 32,5 N – Fuente: Lafarge.

En laboratorio se trabaja con arena normalizada y con cemento sin adiciones, es decir el de tipo I, pero, estas condiciones no se corresponden con las de la práctica habitual de la albañilería, por esta razón y como medio de contraste de resultados, uno de los morteros, se realizará con árido normalizado y cemento CEM I. Como una segunda medida de control de resultados se utilizará siempre el mismo tipo y marca de cemento.

Los productos de modificación de los morteros elegidos que, aditivados a los morteros, puedan aumentar la adherencia de los mismos, cumplen la característica común de ser asequibles económicamente y de fácil disponibilidad en el entorno comercial de las empresas.

b.- caracterización de los materiales: se desarrolla aquí la metodología de la primera Fase del Plan experimental.

b.1.- Caracterización del cemento: el cemento a utilizar, del que ya se ha justificado su elección, es el CEM II/B-M (P-L) 32,5 N. Se trata de un cemento que presenta el sello de registro de Aenor ER, el sello N de Aenor y el certificado CE. Por lo tanto, no es necesario realizar ningún ensayo de caracterización.

Imagen nº 3.- Saco del cemento utilizado CEM II/B-M (P-L) 32,5 N. Fuente: el autor.

b.2.- Caracterización del árido: la caracterización de la arena se hará según especifica la norma *UNE-EN 13139:2003 Áridos para morteros* y el anexo corregido *UNE-EN 13139/AC:2004 Áridos para morteros*, que definen los áridos que se pueden emplear. A efectos de esta norma, el árido será natural: "árido de origen mineral que únicamente ha sido sometido a un proceso mecánico".

.- Granulometría: se realizará el ensayo de granulometría sobre dos muestras. La primera para los morteros de referencia y la segunda al comienzo de la confección de los morteros mejorados. Para el ensayo se seguirá el procedimiento establecido en la *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*. Utilizando los tamices marcados por la citada norma con las siguientes luces de malla (mm): 4,00 – 2,00 – 1,00 – 0,50 – 0,25 – 0,125 – 0,063.

.- Densidad de partículas: se realizará según las condiciones establecidas en la norma *UNE-EN 1097-6:2014 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua*. Consistente en utilizar un picnómetro y determinar las masas del árido saturado con la superficie seca, pesada al aire, la masa aparente en el agua del picnómetro que contiene la muestra de árido saturado, la masa aparente del picnómetro lleno de agua. Así como medir la temperatura ambiente para poder establecer la densidad del agua (ver tabla nº 4).

DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA			
TEMPERATURA °C	DENSIDAD T/m ³	TEMPERATURA °C	DENSIDAD T/m ³
0º C (Hielo)	0,91700	16º C (Agua)	0,99903
-10º C (Agua)	0,99815	17º C (Agua)	0,99886
-5º C (Agua)	0,99930	18º C (Agua)	0,99868
0º C (Agua)	0,99982	19º C (Agua)	0,99849
1º C (Agua)	0,99989	20º C (Agua)	0,99829
2º C (Agua)	0,99994	21º C (Agua)	0,99808
3º C (Agua)	0,99998	22º C (Agua)	0,99786
4º C (Agua)	1,00000	23º C (Agua)	0,99762
5º C (Agua)	1,00000	24º C (Agua)	0,99738
6º C (Agua)	0,99999	25º C (Agua)	0,99713
7º C (Agua)	0,99996	26º C (Agua)	0,99686
10º C (Agua)	0,99977	50º C (Agua)	0,98802
15º C (Agua)	0,99919	100º C (Agua)	0,95805

Tabla nº 2.- Densidad absoluta agua 1 Atm – Fuente: el autor.

.- Equivalente de arena: se realizará según las condiciones establecidas en la norma UNE 103109:1995 Método de ensayo para determinar el índice “Equivalente de Arena” de un suelo. Se toma la muestra, se desmenuza y se tamiza por el tamiz 4,00 mm (en esta norma aún figura el tamiz 5,00 mm). La fracción que pasa se deseca en estufa. Se llena la probeta hasta una altura de 10 cm, se vierten 110 g de suelo suelto en 85 ml de disolución tipo y se deja reposar 10 min. Se agita horizontalmente tapando la boca, con un recorrido de 20 cm, 90 ciclos (ida y vuelta) en 30 s. Finalmente se miden las alturas de floculado total y de arena sedimentada. El nivel equivalente se obtiene de la relación porcentual de la altura de arena con respecto a la total.

.- Finalmente se realizarán ensayos de difracción de rayos x (DRX) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Estos ensayos se definirán más ampliamente en los apartados g y h de caracterización de morteros, en este mismo capítulo.

b.3.- Caracterización del agua: el agua a utilizar en este trabajo es la que se obtiene de la red de distribución de agua de consumo de la ETSEM, en el Laboratorio de Materiales. Esta agua procede de la red municipal de la ciudad de Madrid, gestionada por la entidad de titularidad pública, Canal de Isabel II. Se dedica al consumo humano por lo que es apta para su uso en el amasado de morteros.

b.4.- Caracterización de las adiciones escogidas: sobre las adiciones a utilizar, al presentar sus correspondientes sellos de calidad y el certificado CE. No será necesario realizar ningún ensayo para su caracterización.

Objetivo 3.- Establecer el número y las dosificaciones más adecuadas para abarcar la casuística suficiente que permita constatar el logro de la mejora de la adherencia con solvencia.

No existen dos morteros iguales. Esta afirmación ya era conocida desde la antigüedad (Vitruvio, 2000). Las modificaciones que introducen los distintos

componentes; el conglomerante, los áridos y el agua, aún dentro de los parámetros normativos, son suficientes para establecer diferencias, que si bien no son fundamentales, si son mensurables (Izquierdo Gracia, 2012). La razón reside en que en la naturaleza no existen dos rocas iguales y son la materia prima de nuestros áridos y conglomerantes (González Yunta, 2016). Por ello, definir las proporciones de aglomerante/arena, es uno de los aspectos críticos en la toma de decisiones inicial. Para poseer un espectro de comportamiento suficiente, se trabajará con varias dosificaciones.

La segunda fase del Plan Experimental, consiste en establecer la dosificación de los morteros elegidos. Los morteros con los que se va a trabajar tienen tres relaciones diferentes de cemento/arena, a saber, 1:3, 1:4 y 1:5. La decisión de utilizar estas relaciones se basa en las siguientes razones:

.- La relación 1:3 es la que marca la normativa para realizar los ensayos en los laboratorios, *UNE-EN 196-1:2018 Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias*, como figura en el punto 6.1.- Composición del mortero.

.- Las relaciones 1:4 y 1:5 son las que se utilizan habitualmente en la práctica de la albañilería. En la tabla nº 5 se pueden apreciar los diferentes morteros y su uso habitual en obra, donde se puede observar, que las relaciones 1:4 y 1:5 ocupan la mayor parte de las unidades de obra que actualmente se desarrollan en albañilería.

CLASIFICACIÓN	RELACIÓN C/A		USO HABITUAL	Resistencia Compresión N/mm ² (aprox)
	CEMENTO	ARENA		
Ricos	1	1	Bruñidos y revocos impermeables	>M-25
	1	2	Revoco de zócalos y cornisas	M-20
	1	3	Bóvedas tabicadas y muros de gran carga	M-15
Ordinarios	1	4	Bóvedas tabicadas de escaleras y tabiquería	M-10
	1	5	Muros de carga y enfoscados	M-7,5
Pobres	1	6	Fábricas solicitadas	M-5
	1	8	Muros sometidos únicamente a peso propio	M-2,5
	1	10	Recrecidos de solado	M-1

Tabla nº 3.- Clases habituales de morteros de albañilería. Fuente: el autor.

Objetivo 4.- Establecer las proporciones de cada uno de los productos elegidos como adiciones.

Del mismo modo que en el punto anterior y por las mismas razones, es igualmente crítico en el inicio, establecer las proporciones más adecuadas para cada una de las adiciones elegidas. La adecuada orientación se encontrará apoyándose en los trabajos previos a este, en las hojas técnicas de los productos a elegir, en la bibliografía existentes, etc. Esta será la tercera fase del Plan Experimental.

Los porcentajes de adición utilizados son los que se expresan a continuación para cada uno de los productos seleccionados:

.- Látex (polímero acrílico); 1, 5, 10 y 15% en relación al peso del cemento. Su elección se basa en los trabajos existentes, estudiados y tratados previamente (Rodríguez García et al., 1994), (Simarro Barceló, 2011), (Zhong et al., 2020).

.- Resina de base acuosa (copolímero de estireno-butadieno); 33 y 50% de sustitución del agua de amasado. Esta es la recomendación del fabricante, en su ficha técnica, para la utilización como aditivo de morteros.

.- Metacaolín 5, 10 y 15% en relación al peso de cemento. Por la misma razón que en caso del látex, la elección se basa en los trabajos existentes (Khatib & Wild, 1996), (Frías & Sánchez de Rojas, 2000), (Courard et al., 2003), (Bonakdar et al., 2005), (Frías Rojas et al., 2006), (Gutiérrez et al., 2006), (Enfedaque Díaz, Sánchez Paradela, & Sánchez-Gálvez, 2010), (Chorpeza et al., 2017).

Así, definidas las relaciones cemento/arena y las proporciones de adición para cada uno de los productos elegidos, los morteros a utilizar se muestran en la tabla nº 6.

DOSIFICACIÓN			
ADITIVO	REL C:S	% ADITIVO	% AGUA
CONTROL	1:3	0%	0,50
REFERENCIA	1:3	0%	
	1:4	0%	
	1:5	0%	
LÁTEX	1:3	1%	
		5%	
		10%	
		15%	
	1:4	1%	
		5%	
		10%	
		15%	
	1:5	1%	
		5%	
		10%	
		15%	
METACOLIN	1:3	5%	
		10%	
		15%	
	1:4	5%	
		10%	
		15%	
	1:5	5%	
		10%	
ME A 220	1:3	33%	
		50%	
	1:4	33%	
		50%	
	1:5	33%	
		50%	

Tabla nº 4.- Morteros a utilizar en el Plan Experimental. Fuente: el autor.

Objetivo 5.- Establecer, si procede, los motivos por los que se cumple la hipótesis.

La cuarta fase del Plan Experimental consiste en la realización de los ensayos necesarios para obtener los datos que permitan comprobar el cumplimiento o no de la tesis enunciada. En el caso de que el cumplimiento sea total o parcial, un conocimiento sustancial a obtener será desentrañar las causas por las que todos o algunos de los morteros diseñados se comportan con arreglo a lo esperado. De forma que el conocimiento adquirido pueda facilitar futuras líneas de trabajo y/o razones para no continuarlas.

Objetivo 6.- Evaluar económicamente la utilización de los productos elegidos.

Siendo consecuente con los objetivos expresados de aplicación y utilidad, en un mundo industrial, es necesario establecer este otro objetivo específico aunque no esté directamente relacionado con la demostración de la hipótesis; evaluar económicamente la utilización de los productos elegidos.

Conocidas las dosificaciones se obtienen los rendimientos de consumo de cada producto y estudiando sus precios de mercado, se puede realizar esta evaluación.

4.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL PLAN EXPERIMENTAL

Como ya se ha adelantado este plan se desarrolla en cuatro fases: una primera dedicada a la caracterización de los materiales que así lo requieran; la segunda dedicada a establecer las relaciones cemento/arena, que se van a utilizar; la tercera a dosificar de los morteros que se van a utilizar y una cuarta, que permita obtener los valores necesarios para concluir si se cumple o no la tesis enunciada.

La primera y la segunda fase ya ha sido desarrollada en el objetivo específico correspondiente. De las otras dos se enumeran y describen a continuación los ensayos que las componen.

4.1.1.- FASE III – DOSIFICACIÓN DE LOS MORTEROS A UTILIZAR

a.- Consistencia del mortero fresco: dado que los morteros utilizados presentan características y componentes diferentes, se hace necesario encontrar una forma de hacer comparables los resultados. Una propiedad que homogenice los procesos haciendo comparables los resultados obtenidos.

Para ello se utilizará la propiedad de la trabajabilidad, de modo que a igualdad de trabajabilidad, los resultados de adherencia puedan ser comparables. La trabajabilidad es considerada sino la más, una de las más importantes propiedades de los morteros (Bustillo Revuelta, 2008).

Esta propiedad depende de varios factores, siendo muy importante el factor subjetivo, por lo que se debe mensurar en función de aquellas propiedades que más se aproximan. La consistencia es la característica utilizada habitualmente ya que está íntimamente relacionada con la dosificación, la relación agua/cemento y las características del árido utilizado. La variabilidad que pudiera suponer éste último factor se ha solucionado, de origen en este trabajo, debido a la conocida condición de que todos los morteros empleados utilizan el mismo árido.

Para este trabajo, se ha fijado la medida de la consistencia mediante un escurrimiento en mesa de sacudidas, en el entorno de los 170 mm,

asegurando una consistencia plástica, ya que es la media del rango de este tipo de consistencia (140 – 200 mm). Se da continuidad a toda la experiencia anterior a este trabajo y a recomendaciones muy autorizadas (Azkárte, 2006), y se evitan los problemas de falta de adherencia que puede traer una consistencia más seca (<140 mm) o los de segregación y escaso control que puede producir una consistencia fluida (>200mm).

La determinación de la consistencia se realiza según la norma *UNE-EN 1015-3:2000 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas)* y la *UNE-EN 1015-3:2000/A1:2005 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas)* y la *UNE-EN 1015-3:2000/A2:2007 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas)*.

Elegidas las relaciones agua/arena y determinadas las proporciones de adición de los productos modificadores, el único componente que falta por establecer es la cantidad de agua que se debe añadir a cada uno de los morteros. Concluidos todos los ensayos de consistencia se tendrán disponibles todas las dosificaciones a emplear.

4.1.2.- FASE IV – CARACTERIZACIÓN DE LOS MORTEROS

a.- Densidad aparente del mortero fresco: se realiza según la norma *UNE-EN 1015-6:1999 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco* y la *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*. El procedimiento operatorio se compone de los siguientes pasos: amasado del mortero; determinación de la densidad aparente mediante el cociente entre la masa y el volumen. El volumen es un recipiente de 1 l. El recipiente se pesa después de haberse llenado en dos tongadas que se compactan, tomándose el valor medio de dos determinaciones.

b.- Densidad aparente en seco del mortero endurecido: se realiza según la norma *UNE-EN 1015-10:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido* y la modificación *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*. El procedimiento operatorio es el siguiente: “La probeta se seca en la estufa, a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta que se alcance masa constante. Para las muestras que contengan componentes orgánicos, por ejemplo, áridos de poliestireno expandido, se utiliza una temperatura de secado de $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Se considera que la probeta ha alcanzado masa constante cuando dos pesadas sucesivas, efectuadas a intervalos de 2 horas de secado, no difieren

en más de 0,2% de la masa de la probeta seca. Se anota la masa de la probeta, $m_{s,sec}$, en kg con una exactitud aproximada del 0,1%".

c.- Resistencias mecánicas: para determinar las resistencias mecánicas de los morteros, en primer lugar, se realizan probetas de 160 mm x 40 mm x 40 mm, utilizando para ello moldes normalizados. Transcurridos 28 días, que las probetas habrán pasado en el interior de una cámara húmeda, en condiciones de temperatura y humedad controladas se procede a la rotura de las mismas.

c.1.- Resistencia a flexión: la resistencia a flexión no ofrece un parámetro, *a priori*, útil para un mortero pues nunca se le exige trabajar de esta forma, dada su ínfima resistencia en comparación con la de compresión. Se utiliza para obtener una medida indirecta de la resistencia a tracción. Esta también es sumamente reducida, pero si es cierto que, en ocasiones la presencia de fisuras, depende directamente de que el mortero tenga una pequeña variación en su resistencia a tracción, siendo un índice de calidad del mortero (Monjo Carrió, 1997).

El ensayo se realiza de acuerdo a lo prescrito por la norma *UNE-EN 1015-11:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido* y su anexo *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*.

El ensayo de flexión divide la probeta en dos partes sensiblemente parecidas en cuanto a longitud, obteniéndose dos probetas para el ensayo de compresión de cada una de las de flexión.

c.2.- Resistencia a compresión: la resistencia a compresión es un indicador excelente de la resistencia de los morteros, aunque es cierto que la resistencia que se le solicita para algunos trabajos, como el de albañilería, suele estar por debajo de la realmente obtenida.

Igualmente, el ensayo se realiza en base a la norma *UNE-EN 1015-11:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido* y su anexo *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*.

Como se ha comentado anteriormente, las probetas para este ensayo, son los restos de las probetas procedentes del ensayo de flexión, obteniéndose dos valores de compresión por cada uno de los de flexión.

d.- Envejecimiento acelerado: dada la inexistencia de normativa para ensayos de envejecimiento acelerado para morteros, se ha optado por utilizar dos normas referidas a ello, aunque para materiales pétreos. Las normas utilizadas son, la *UNE-EN 12371:2011 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la heladicidad* y la *UNE-EN 14066:2014 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por choque térmico* (Rodríguez, Junco, & Calderón, 2016).

En este trabajo se han mezclado los procedimientos de ambas normas. En la primera, la UNE-EN 12371:2011, se establecen una serie de ciclos de hielo-deshielo, hasta la degradación de la probeta, con un máximo de 168. Los ciclos, con una duración de 12 h, consisten en 6 h de congelación a -12° C, alternados con 6 h de descongelación, con las probetas sumergidas en agua a 20° C. Cuando se hacen manualmente, la norma admite que la última fase, de inmersión, se prolongue durante toda la noche, ampliando el ciclo a 24 h.

En la segunda, la UNE-EN 14066:2014, se establecen 20 ciclos de choque térmico. Los ciclos, con una duración de 24 h, consisten en 18 h en una estufa ventilada a 70° C alternados con 6 h de enfriamiento con las probetas sumergidas en agua a 20° C.

Para esta investigación se ha preparado un procedimiento de envejecimiento acelerado, basado en 25 ciclos divididos en periodos de 6 h, de estancia en estufa, inmersión en agua y congelación. Esta adaptación se basa en experiencias previas de otros autores, en situaciones similares a la de esta tesis (Saiz Martínez, González Cortina, Fernández Martínez, & Rodríguez Sánchez, 2018).

A los ciclos se someten solo dos de las tres probetas elaboradas, dejando la tercera como dato de control.

Al terminar los ciclos, las probetas se someten a ensayo de flexión, absorción y compresión. En los tres casos, los resultados obtenidos se comparan con los de las probetas de control estableciendo, de esta forma un índice comparativo de la reducción de cualidades que pueden suponer el paso del tiempo para los morteros objeto de investigación.

e.- Adherencia en seco: para la realización de este ensayo, se siguen las disposiciones de la norma *UNE-EN 1015-12:2016 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros de revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes*.

El ensayo se ha realizado mediante la extensión, sobre ladrillo hueco sencillo de gran formato 40 cm x 20 cm x 4 cm, de un tendido del mortero a ensayar

con un espesor de 1 cm. Sobre el tendido fresco, se ha procedido a realizar precortes circulares mediante un anillo troncocónico de canto vivo de acero inoxidable, con un diámetro interior de 50 mm definido en la norma. Obteniéndose cinco círculos exentos del mortero adherido sobre la superficie cerámica.

Esta probeta, se introduce en la cámara húmeda a la espera del transcurso de los 28 días prescriptivos para que el mortero alcance su resistencia prevista.

Transcurrido el periodo de curado, sobre cada uno de los círculos de mortero, se adhieren mediante el uso de resinas epoxídicas las pastillas de acero inoxidable provistas de un dispositivo de fijación al equipo de tracción. Esta resina se deja curar durante el tiempo estipulado por el fabricante, que en este caso es de 24 h.

A partir de ese momento, ya puede conectarse el equipo de tracción directa y proceder a medir la resistencia a arrancamiento de cada una de las probetas.

f.- Retracción: para la realización de este ensayo, se siguen las disposiciones de la norma *UNE 80112:2016 Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la retracción de secado y del hinchamiento en agua*.

De cada uno de los morteros elegidos se realizan tres probetas de 25 mm x 25 mm x 285 mm. Las probetas han sido provistas en sus extremos de tacos metálicos roscados para posteriormente introducir un tornillo de cabeza redonda que sirve de acople al instrumento de medida.

g.- Difracción de Rayos X – DRX: se trata de una técnica consistente en medir la difracción de un haz de radiación (rayos X) incidente sobre una muestra de material pulverizada. La radiación utilizada tiene una longitud de onda del orden de 10^{-10} m, que es el mismo orden de magnitud que el de las distancias interatómicas de los sólidos cristalinos. Es una técnica muy efectiva para el análisis cualitativo y cuantitativo de fases cristalinas de cualquier material.

La información se traduce en espectrogramas de composición química de la muestra. Solo puede dar información de las fases cristalinas que se encuentren en la mezcla.

Los ensayos de difracción, se realizarán únicamente sobre tres de los morteros modificados. Para cubrir el mayor espectro posible de factores se elegirán los morteros con el mejor resultado en cuanto a adherencia, de cada uno de los productos elegidos.

h.- Microscopía electrónica de barrido – SEM: se trata de una técnica en la que se utiliza un microscopio que sustituye la luz por un haz de electrones. Se hace incidir un haz de electrones sobre la muestra y una serie de sensores recogen información sobre los electrones y rayos X producidos; electrones secundarios, electrones retrodispersados y rayos X.

Para que esto suceda la superficie de la muestra debe ser conductora, por lo que cuando no se trata de un material conductor, se recubre previamente con una fina capa de oro que genera una red conductora.

Los sensores que posee el equipo son tres, uno para cada tipo de emisión citada. El detector de electrones secundarios capta los electrones emitidos por la muestra al incidir el haz que produce el microscopio. El de electrones retrodispersados recoge los electrones que atraviesan la muestra y el detector de energía dispersiva (EDX) recoge los rayos X generados.

La información que recoge cada uno de los sensores se traduce en distintas imágenes. Los electrones secundarios permiten generar imágenes de alta resolución que permiten conocer la textura y las características morfológicas, pudiendo utilizar diferentes rangos de aumentos, hasta un máximo de 300.000. Esta imagen está escalada, por lo que es posible medir sobre ella.

Los electrones retrodispersados permiten imágenes de menor resolución, pero una buena topografía de la superficie, dando información sobre las variaciones composicionales de la muestra. En esta imagen se ven con distintas tonalidades los elementos más pesados que los más ligeros.

Finalmente, el detector de energía dispersiva permite la realización de microanálisis puntuales, zonales y mapeados de composición química de la muestra.

Al igual que sucedía con el ensayo de DRX, este solo funciona cuando se encuentran cristales en la muestra.

El criterio de realización y elección de los morteros sobre los que realizar los ensayos, es el mismo que en el apartado anterior.

Imágenes nº 4, 5 y 6.- Arriba, Microscopio electrónico. Abajo-izquierda, muestras metalizadas con oro para SEM. Abajo-derecha, muestras pulverizadas para DRX. Fuente: CAI-UCM.

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los ensayos se han realizado en el laboratorio de materiales de la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid, a excepción de los de Difracción de Rayos X y microscopía electrónica de barrido, que se han realizado en el CAI de Técnicas Geológicas de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid.

5.1.- RESULTADOS

Se expresan a continuación los resultados de los ensayos realizados, que posteriormente serán discutidos.

5.1.1.- FASE I – CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

a.- Arena: la arena a utilizar, en imitación de las condiciones de la práctica de la albañilería, procede de un almacén de materiales de construcción. Se ha averiguado el origen y se ha tenido la precaución de mantener el mismo a lo largo de todo el proceso experimental.

De las materias primas utilizadas la única que requería caracterización, aun estando sancionada por el uso, era la arena. Procede de una cantera de la provincia de Segovia, situada en la población de Valseca, de la empresa Áridos Siro, S.L. (<http://www.aridos-siro.com/index.html>). En las imágenes nº 5 y nº 6, facilitadas por la empresa desde su página web, se ven el aspecto y la cantera de origen.

Imágenes nº 7 y 8.- Arena utilizada y localización de la cantera de procedencia. Fuente: Áridos Siro, S.L.

El único tratamiento previo realizado ha sido el de eliminar la humedad que poseía en el momento del suministro, que cabe destacar que era muy elevada. Para ello se introdujo en estufa hasta peso constante (ver imagen nº 7).

Imagen nº 9.- Arena desecada. Fuente: el autor.

Los resultados obtenidos en los distintos ensayos se describen a continuación.

a.1.- Granulometría: realizado el ensayo de análisis granulométrico, según la normativa citada, los resultados obtenidos en sendas determinaciones permiten afirmar que la arena a utilizar se encuentra dentro de los límites, poseyendo una granulometría sensiblemente continua. El porcentaje de finos no pasa en ningún caso de 0,36 %. Los finos perdidos en el lavado suponen en el peor de los casos el 3,18 %, por lo que, aunque se sumen a los retenidos en fondo, no superan el 5% de la muestra. El módulo de finura es de 3,0. Pasa casi íntegramente por el tamiz 8, siendo la media de $\bar{x} = 0,60$ g, por lo que se considera a efectos de la norma como árido fino (ver imágenes nº 9 y nº 10).

Imagen nº 10.- Batería de tamices del ensayo de granulometría. Fuente: Santiago Villa Ortega.

Imagen nº 11.- Gráfico de granulometría Muestra 1. Fuente: el autor.

Imagen nº 12.- Gráfico de granulometría Muestra 2. Fuente: el autor.

a.2.- Densidad de partículas: realizado el ensayo de densidad de partículas y absorción de agua, según la normativa citada, los resultados obtenidos son los que figuran en la siguiente tabla.

Magnitud	T/m3	%
Densidad aparente de partículas	1,61	
Densidad de partícula tras secado	1,60	
Densidad ed partículas saturadas con la superficie seca	1,61	
Absorción de agua		29,00

Tabla nº 5.- Resultados ensayo densidad de partículas. Fuente: el autor.

a.3.- Equivalente de arena: realizado el ensayo de equivalente de arena, según la normativa citada, el resultado obtenido es de 97,7%.

Imagen nº 13.- Ensayo de equivalente arena – Fuente: Santiago Villa Ortega.

a.4.- Microscopia electrónica de barrido: finalmente se han realizado pruebas de microscopia electrónica de barrido, en las que se han podido identificar los siguientes componentes de la arena.

Se han identificado como componentes mica biotita, cuarzo y calcita.

Imagen nº 14.- SEM mica biotita. Fuente: Laboratorio CAI-UCM

Imagen nº 15.- Espectrograma de mica biotita. Fuente: Laboratorio CAI-UCM

Imagen nº 16.- SEM calcita. Fuente: Laboratorio CAI-UCM

Imagen nº 17.- Espectrograma de calcita. Fuente: Laboratorio CAI-UCM

Imagen nº 18.- SEM cuarzo. Fuente: Laboratorio CAI-UCM

Imagen nº 19.- Espectrograma de cuarzo. Fuente: Laboratorio CAI-UCM

b.- Productos de modificación de los morteros:

Se han elegido tres productos, tal y como se aclaró anteriormente, a saber; látex artificial (polímero acrílico), una resina de base acuosa (copolímero de estireno-butadieno) y metacaolín.

b.1.- Látex (polímero acrílico): su elección se basa en ser un componente habitual, como aditivo de morteros para mejorar la adherencia y, aunque existen trabajos ya al respecto, existen resultados no convergentes. En este trabajo se ha buscado un látex sintético de bajo coste. Ramakrishnan, en su citado trabajo (Ramakrishnan, 1992), establece las composiciones químicas de los principales compuestos considerados como látex sintético, entre los que se encuentran los polímeros acrílicos (ver tabla nº 2).

Substance	Parts by weight
Ethyl acrylate	98.0
A vinyl carboxylic acid	2.0
Nonionic surfactant	6.0+
Anionic surfactant	0.3*
Sodium formaldehyde sulfoxylate	0.1
Caustic soda	0.2
Peroxide	0.1
Water	100.0
+ The nonionic surfactants may be nonyl phenols reacted with 20 to 40 molecules of ethylene oxide.	
* The low levels of anionic surfactants are used to control the rate of polymerization.	

Tabla nº 6.- Composición genérica de un polímero acrílico. Fuente: V. Ramakrishnan

El látex elegido es de la marca Manuel Riesgo. Según las fuentes del suministrador consistente en un polímero acrílico caracterizado por una óptima resistencia a los agentes atmosféricos y estabilidad química. Por la elevada resistencia a los álcalis, resulta particularmente indicada para aplicaciones con aglomerantes hidráulicos (cal hidráulica, cemento, yeso). Es utilizado como aditivo para morteros de inyección y de estucado, ligante para pigmentos y veladuras, adhesivo, consolidante y fijativo para estratos pictóricos. Propiedades características: excelente estabilidad al hielo-deshielo, buena estabilidad del pH, óptimo poder ligante. Su coste es de 11,83 €/l. Cabe destacar las dificultades de su disolución completa (ver imagen nº 16)

Imagen nº 20.- Aspecto del látex. Fuente: el autor

b.2.- Resina comercial de base acuosa (copolímero de estireno-butadieno): los copolímeros de estireno-butadieno (látex SBR) son muy utilizadas para la mejora de propiedades de los morteros. Ramakrishnan aporta la composición genérica, que figura en la tabla nº 3, de los copolímeros de estireno-butadieno.

Substance	Parts by weight
Styrene	64.0
Butadiene	35.0
A vinyl carboxylic acid	1.0
Nonionic surfactant	7.0 +
Anionic surfactant	0.1 *
Ammonium persulfate	0.2
Water	105.0
+ The nonionic surfactants may be nonyl phenols reacted with 20 to 40 molecules of ethylene oxide.	
* The low levels of anionic surfactants are used to control the rate of polymerization.	

Tabla nº 7.- Composición genérica de un copolímero de estireno-butadieno. Fuente: V. Ramakrishnan.

Las elegidas para este trabajo, ya son un producto comercial de la empresa BASF, denominado MasterEmaco A 220. El fabricante define como aditivo líquido para confección de morteros mejorados. Consiste en una dispersión acuosa de resinas especiales modificadas. En principio se comercializa como puente químico de unión sobre superficies de hormigón, pero en sus especificaciones técnicas figura también como aditivo para morteros mejorados. Su coste es de 3,86 €/l.

Imagen nº 21.- Aspecto del MasterEmaco A 220. Fuente: Santiago Villa Ortega

b.3.- Metacaolín: el metacaolín, como ya se ha visto en la bibliografía aportada, se ha incorporado en los últimos años como sustituto puzolánico del cemento, comprobándose que la adición sustitutiva incrementa significativamente las propiedades de las mezclas y reducía el coste. En este trabajo se va a utilizar como adición pura, sin sustitución, buscando la mejora de la adherencia.

El producto elegido es de la empresa BASF, denominado MetaMax. Se define como una puzolana ultrafina de alta reactividad para hormigones.

Incrementa la resistencia, la durabilidad, la trabajabilidad y la apariencia de las mezclas de cemento Portland. Su coste es de 1,92 €/Kg.

Imagen nº 22.- Aspecto del metacaolín MetaMax. Fuente: Santiago Villa Ortega

5.1.2.- FASE III – DETERMINACIÓN DE DOSIFICACIONES

a.- Determinación de la consistencia: en este trabajo, el valor de la consistencia es aquel a través del cual se han homogeneizado los diferentes morteros estudiados. Se invierte el sentido habitual del ensayo, obligando a que todos los morteros obtengan un valor predeterminado. Obteniendo del sistema resultante, la cantidad de agua necesaria para cada mortero.

Imagen nº 23.- Ensayo de consistencia en mesa de sacudidas. Fuente: el autor.

Quedan de esta manera establecidas todas las dosificaciones que van a ser utilizadas. Los resultados obtenidos se reflejan en la siguiente tabla (C: conglomerante, S: arena, W: agua, A: adición).

DOSIFICACIÓN				PESOS				CONSISTENCIA	
ADITIVO	REL C:S	% ADITIVO	% AGUA	C	S	W	A	EJE 1	EJE 2
CONTROL	1:3		0,50	450,0	1350,0	225,00		110,75	105,70
REFERENCIA	1:3		0,63	450,0	1350,0	283,50		172,20	167,50
	1:4		0,77	337,5	1350,0	259,88		171,40	170,40
	1:5		1,00	270,0	1350,0	270,00		169,00	172,00
LÁTEX	1:3	1%	0,65	450,0	1350,0	292,50	4,50	171,00	171,00
		5%	0,65	450,0	1350,0	292,50	22,50	170,00	170,00
		10%	0,85	450,0	1350,0	382,50	45,00	174,00	165,00
		15%	0,95	450,0	1350,0	427,50	67,50	174,00	165,00
	1:4	1%	0,74	337,5	1350,0	249,75	3,38	170,00	171,00
		5%	0,80	337,5	1350,0	270,00	22,50	172,00	168,00
		10%	0,92	337,5	1350,0	310,50	33,80	176,00	174,00
		15%	1,00	337,5	1350,0	337,50	50,60	175,00	170,00
	1:5	1%	0,86	270,0	1350,0	232,20	2,70	170,00	168,00
		5%	0,90	270,0	1350,0	243,00	13,50	177,00	170,00
		10%	1,02	270,0	1350,0	275,40	27,00	169,00	180,00
		15%	1,11	270,0	1350,0	299,70	40,50	173,00	171,00
METACAOLIN	1:3	5%	0,65	450,0	1350,0	292,50	22,50	170,10	168,20
		10%	0,70	450,0	1350,0	315,00	45,00	171,00	169,00
		15%	0,73	450,0	1350,0	328,50	67,50	169,00	171,00
	1:4	5%	0,85	337,5	1350,0	286,88	16,88	168,30	170,07
		10%	0,87	337,5	1350,0	293,62	33,75	170,00	171,00
		15%	0,88	337,5	1350,0	297,00	50,63	168,70	174,00
	1:5	5%	1,03	270,0	1350,0	278,10	13,50	175,00	170,00
		10%	1,05	270,0	1350,0	283,50	27,00	171,00	169,00
		15%	1,06	270,0	1350,0	286,20	40,50	172,00	174,00
ME A 220	1:3	33%	0,47	450,0	1350,0	211,50	69,80	175,00	176,00
		50%	0,43	450,0	1350,0	193,50	96,75	171,00	177,00
	1:4	33%	0,58	337,5	1350,0	195,75	64,60	173,00	175,00
		50%	0,53	337,5	1350,0	178,86	89,44	175,00	176,00
	1:5	33%	0,69	270,0	1350,0	186,30	61,48	178,00	170,00
		50%	0,62	270,0	1350,0	167,40	83,70	172,00	170,00

Tabla nº 8.- Resultados de los ensayos de consistencia. Fuente: el autor. Peso en gr, medidas en mm.

5.1.3.- FASE IV – CARACTERIZACIÓN DE LOS MORTEROS

a.- Densidad en fresco: la densidad en fresco, en un mortero, es una consecuencia de la consistencia, que está directamente relacionada con los componentes de la mezcla y con la cantidad de agua añadida. Para evitar el consumo excesivo, el volumen del recipiente en el que se realizó el ensayo no era de 1 l, como dicta la norma, sino más reducido.

Imagen nº 24.- Ensayo de densidad en fresco. Fuente: el autor.

Los resultados obtenidos se reflejan en la siguiente tabla (C: conglomerante, S: arena, W: agua, A: adición).

DOSIFICACIÓN				PESOS				DENSIDAD		
ADITIVO	REL C:S	% ADITIVO	% AGUA	C	S	W	A	MASA Tt	MASA	DENS.
CONTROL	1:3		0,50	450,0	1350,0	225,00		841,50	770,60	2,13
REFERENCIA	1:3		0,63	450,0	1350,0	283,50		848,40	777,50	2,15
	1:4		0,77	337,5	1350,0	259,88		800,90	730,00	2,02
	1:5		1,00	270,0	1350,0	270,00		829,90	759,00	2,10
LÁTEX	1:3	1%	0,65	450,0	1350,0	292,50	4,50	792,90	722,00	2,00
		5%	0,65	450,0	1350,0	292,50	22,50	835,00	764,10	2,12
		10%	0,85	450,0	1350,0	382,50	45,00	773,40	702,50	1,95
		15%	0,95	450,0	1350,0	427,50	67,50	767,50	696,60	1,93
	1:4	1%	0,74	337,5	1350,0	249,75	3,38	760,60	689,70	1,91
		5%	0,80	337,5	1350,0	270,00	22,50	806,80	735,90	2,04
		10%	0,92	337,5	1350,0	310,50	33,80	753,60	682,70	1,89
		15%	1,00	337,5	1350,0	337,50	50,60	756,20	685,30	1,90
	1:5	1%	0,86	270,0	1350,0	232,20	2,70	763,20	692,30	1,92
		5%	0,90	270,0	1350,0	243,00	13,50	766,40	695,50	1,93
		10%	1,02	270,0	1350,0	275,40	27,00	786,40	715,50	1,98
		15%	1,11	270,0	1350,0	299,70	40,50	802,30	731,40	2,03
METACOLIN	1:3	5%	0,65	450,0	1350,0	292,50	22,50	845,00	774,10	2,14
		10%	0,70	450,0	1350,0	315,00	45,00	837,20	766,30	2,12
		15%	0,73	450,0	1350,0	328,50	67,50	837,90	767,00	2,12
	1:4	5%	0,85	337,5	1350,0	286,88	16,88	839,20	768,30	2,13
		10%	0,87	337,5	1350,0	293,62	33,75	837,70	766,80	2,12
		15%	0,88	337,5	1350,0	297,00	50,63	840,80	769,90	2,13
	1:5	5%	1,03	270,0	1350,0	278,10	13,50	832,68	761,78	2,11
		10%	1,05	270,0	1350,0	283,50	27,00	827,38	756,48	2,10
ME A 220	1:3	33%	0,47	450,0	1350,0	211,50	69,80	830,90	760,00	2,11
		50%	0,43	450,0	1350,0	193,50	96,75	781,10	710,20	1,97
	1:4	33%	0,58	337,5	1350,0	195,75	64,60	780,20	709,30	1,96
		50%	0,53	337,5	1350,0	178,86	89,44	759,00	688,10	1,91
	1:5	33%	0,69	270,0	1350,0	186,30	61,48	781,60	710,70	1,97
		50%	0,62	270,0	1350,0	167,40	83,70	762,10	691,20	1,91

Tabla nº 9.- Resultados de los ensayos de densidad en fresco. Fuente: el autor. Masa en gr, densidad en Kg/m³.

b.- Resistencia a flexión: los resultados obtenidos en cuanto a la resistencia a flexión, son los que se relacionan a continuación.

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:3:0,50 NORMALIZADA	R MPa	4,950	5,194	5,463	5,202
1:3:0,63 REFERENCIA	R MPa	4,760	4,808	4,647	4,738
1:3:0,65+1% LX	R MPa	3,202	3,167	3,170	3,180
1:3:0,65+5% LX	R MPa	4,515	4,524	4,914	4,651
1:3:0,85+10% LX	R MPa	2,939	2,920	3,063	2,974
1:3:0,95+15% LX	R MPa	2,337	2,260	2,321	2,306
1:3:0,65+5% MK	R MPa	5,695	5,785	5,683	5,721
1:3:0,70+10% MK	R MPa	5,029	5,038	5,646	5,238
1:3:0,73+15% MK	R MPa	5,623	5,699	5,201	5,508
1:3:0,47+33% ME220	R MPa	4,833	4,634	4,840	4,769
1:3:0,43+50% ME220	R MPa	5,074	5,225	4,792	5,030
1:4:0,77REFERENCIA	R MPa	3,137	3,260	3,206	3,201
1:4:0,74+1% LX	R MPa	3,134	3,110	3,277	3,174
1:4:0,80+5% LX	R MPa	3,058	3,269	3,151	3,159
1:4:0,92+10% LX	R MPa	2,345	2,213	2,366	2,308
1:4:1,00+15% LX	R MPa	2,035	2,125	2,216	2,125
1:4:0,85+5% MK	R MPa	4,653	4,782	4,296	4,577
1:4:0,87+10% MK	R MPa	5,856	6,352	6,329	6,179
1:4:0,88+15% MK	R MPa	5,499	5,953	3,170	4,874
1:4:0,58+33% ME220	R MPa	4,758	4,969	4,746	4,824
1:4:0,53+50% ME220	R MPa	3,715	3,761	3,737	3,738
1:5:1,00 REFERENCIA	R MPa	2,919	2,793	2,684	2,799
1:5:0,86+1% LX	R MPa	2,487	2,459	2,473	2,473
1:5:0,90+5% LX	R MPa	2,709	2,896	2,982	2,862
1:5:1,02+10% LX	R MPa	2,488	2,573	2,631	2,564
1:5:1,11+15% LX	R MPa	2,091	2,178	2,003	2,091
1:5:1,03+5% MK	R MPa	2,711	2,877	2,566	2,718
1:5:1,05+10% MK	R MPa	4,494	4,259	4,560	4,438
1:5:1,06+15% MK	R MPa	3,362	3,110	3,414	3,295
1:5:0,69+33% ME220	R MPa	5,024	5,120	5,144	5,096
1:5:0,62+50% ME220	R MPa	3,857	3,677	3,760	3,765

Tabla nº 10.- Resultados de los ensayos de resistencia a flexión. Fuente: el autor.

Imagen nº 25.- Ensayo de flexión. Fuente: el autor.

c.- **Resistencia a compresión:** los resultados obtenidos en cuanto a resistencia a compresión, son los que se relacionan a continuación.

DOSIFICACIÓN	Uds	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:3:0,50 NORMALIZADA	R MPa	29,39	29,26	29,45	30,84	30,62	29,93	29,92
1:3:0,63 REFERENCIA	R MPa	19,15	19,09	17,98	18,22	18,95	18,83	18,70
1:3:0,65+1% LX	R MPa	10,38	10,67	10,48	10,11	10,08	10,04	10,29
1:3:0,65+5% LX	R MPa	13,81	13,28	12,99	13,33	12,47	13,13	13,17
1:3:0,85+10% LX	R MPa	7,66	8,26	8,36	7,71	7,62	7,15	7,79
1:3:0,95+15% LX	R MPa	5,36	5,51	5,41	5,51	5,47	5,62	5,48
1:3:0,65+5% MK	R MPa	26,99	26,93	27,07	27,45	27,14	28,43	27,34
1:3:0,70+10% MK	R MPa	28,42	28,22	28,47	28,66	28,31	28,51	28,43
1:3:0,73+15% MK	R MPa	30,07	30,14	30,19	30,27	30,16	30,12	30,16
1:3:0,47+33% ME220	R MPa	16,69	17,41	15,75	16,71	16,69	16,25	16,58
1:3:0,43+50% ME220	R MPa	15,34	14,99	14,84	15,17	16,23	15,06	15,27
1:4:0,77REFERENCIA	R MPa	11,09	11,00	11,17	11,78	11,52	11,27	11,31
1:4:0,74+1% LX	R MPa	9,85	9,87	9,66	9,52	9,74	9,65	9,72
1:4:0,80+5% LX	R MPa	10,28	11,36	10,04	11,68	10,51	10,97	10,81
1:4:0,92+10% LX	R MPa	7,05	6,64	7,03	6,98	6,76	7,25	6,95
1:4:1,00+15% LX	R MPa	5,14	5,10	5,30	5,18	5,39	5,24	5,23
1:4:0,85+5% MK	R MPa	16,78	17,13	16,92	17,00	16,97	16,85	16,94
1:4:0,87+10% MK	R MPa	21,64	21,85	22,30	22,37	21,99	22,11	22,04
1:4:0,88+15% MK	R MPa	22,80	23,81	22,56	22,16	22,47	22,73	22,76
1:4:0,58+33% ME220	R MPa	15,09	14,53	14,52	14,93	14,81	15,14	14,84
1:4:0,53+50% ME220	R MPa	10,30	9,98	9,99	9,76	10,20	10,03	10,04
1:5:1,00 REFERENCIA	R MPa	8,67	8,46	8,71	8,51	8,56	8,88	8,63
1:5:0,86+1% LX	R MPa	7,02	6,80	6,78	7,07	6,66	7,22	6,93
1:5:0,90+5% LX	R MPa	8,29	8,21	8,30	7,92	8,32	8,21	8,21
1:5:1,02+10% LX	R MPa	6,30	6,08	5,95	5,97	6,46	6,42	6,20
1:5:1,11+15% LX	R MPa	4,24	4,26	4,39	4,26	4,75	5,07	4,50
1:5:1,03+5% MK	R MPa	8,56	9,30	9,09	8,72	8,40	8,22	8,72
1:5:1,05+10% MK	R MPa	15,02	15,04	14,73	14,76	14,73	14,70	14,83
1:5:1,06+15% MK	R MPa	11,84	11,63	12,45	12,63	13,07	12,52	12,36
1:5:0,69+33% ME220	R MPa	18,46	19,67	18,91	19,81	18,63	19,64	19,19
1:5:0,62+50% ME220	R MPa	10,57	10,71	10,53	10,53	11,34	10,44	10,69

Tabla nº 11.- Resultados de los ensayos de resistencia a compresión. Fuente: el autor.

Imagen nº 26.- Ensayo de compresión. Fuente: el autor.

d.- Densidad en estado endurecido: los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la densidad en estado endurecido, son los que se relacionan a continuación.

DOSIFICACIÓN	P1	P2	P3	MEDIA
1:3:0,50 NORMALIZADA	2,48	2,48	2,50	2,49
1:3:0,63 REFERENCIA	2,52	2,52	2,52	2,52
1:3:0,65+1% LX	2,22	2,24	2,24	2,23
1:3:0,65+5% LX	2,21	2,20	2,20	2,20
1:3:0,85+10% LX	2,19	2,20	2,18	2,19
1:3:0,95+15% LX	2,20	2,19	2,18	2,19
1:3:0,65+5% MK	2,38	2,39	2,39	2,39
1:3:0,70+10% MK	2,38	2,37	2,37	2,37
1:3:0,73+15% MK	2,34	2,33	2,33	2,33
1:3:0,47+33% ME220	2,33	2,32	2,33	2,33
1:3:0,43+50% ME220	2,13	2,13	2,12	2,13
1:4:0,77REFERENCIA	2,47	2,47	2,47	2,47
1:4:0,74+1% LX	2,14	2,14	2,14	2,14
1:4:0,80+5% LX	2,19	2,16	2,16	2,17
1:4:0,92+10% LX	2,19	2,17	2,16	2,17
1:4:1,00+15% LX	2,15	2,16	2,16	2,15
1:4:0,85+5% MK	2,44	2,45	2,44	2,44
1:4:0,87+10% MK	2,43	2,44	2,43	2,43
1:4:0,88+15% MK	2,41	2,40	2,41	2,41
1:4:0,58+33% ME220	2,24	2,22	2,21	2,22
1:4:0,53+50% ME220	2,07	2,08	2,10	2,08
1:5:1,00 REFERENCIA	2,47	2,48	2,47	2,47
1:5:0,86+1% LX	2,09	2,09	2,08	2,08
1:5:0,90+5% LX	2,11	2,11	2,09	2,10
1:5:1,02+10% LX	2,18	2,19	2,19	2,19
1:5:1,11+15% LX	2,18	2,18	2,19	2,18
1:5:1,03+5% MK	2,47	2,47	2,47	2,47
1:5:1,05+10% MK	2,44	2,44	2,43	2,44
1:5:1,06+15% MK	2,41	2,41	2,40	2,41
1:5:0,69+33% ME220	2,10	2,08	2,09	2,09
1:5:0,62+50% ME220	2,22	2,20	2,21	2,21

Tabla nº 12.- Resultados de los ensayos de densidad en estado endurecido. Fuente: el autor. Densidad en Kg/m³.

Imagen n° 27.- Ensayo de densidad en estado endurecido. Fuente: el autor.

e.- Durabilidad: tras el procedimiento mixto; resistencia a heladicidad y a choque térmico, utilizado con éxito anteriormente, definido anteriormente, se procedió a realizar ensayos de resistencia a flexión, resistencia a compresión y absorción.

Imagen n° 28.- Ensayo de durabilidad, saturación de probetas. Fuente: Santiago Villa Ortega.

Imagen n° 29.- Ensayo de durabilidad, congelación de probetas. Fuente: Santiago Villa Ortega.

Imagen nº 30.- Ensayo de durabilidad, desecación en estufa de probetas. Fuente: el autor.

e.1.- Resistencia a flexión: los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de resistencia a flexión tras el proceso de envejecimiento acelerado son los que se relacionan a continuación.

Imagen nº 31.- Ensayo de flexión y compresión de probetas sometidas a envejecimiento. Fuente: el autor.

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:3:0,50 NORMALIZADA	R MPa	6,832	6,491	4,987	6,662	-25,14
1:3:0,63 REFERENCIA	R MPa	5,645	5,770	4,524	5,708	-20,74
1:3:0,65+1% LX	R MPa	4,619	4,757	3,722	4,688	-20,61
1:3:0,65+5% LX	R MPa	7,139	6,663	7,142	6,901	3,49
1:3:0,85+10% LX	R MPa	5,289	5,333	4,945	5,311	-6,89
1:3:0,95+15% LX	R MPa	4,349	3,970	4,809	4,160	15,61
1:3:0,65+5% MK	R MPa	8,802	8,935	6,357	8,869	-28,32
1:3:0,70+10% MK	R MPa	9,660	8,055	6,044	8,858	-31,76
1:3:0,73+15% MK	R MPa	6,156	7,525	5,774	6,841	-15,59
1:3:0,47+33% ME220	R MPa	7,348	8,268	7,813	7,808	0,06
1:3:0,43+50% ME220	R MPa	8,534	6,916	7,084	7,725	-8,30
1:4:0,77REFERENCIA	R MPa	5,458	4,332	3,812	4,895	-22,12
1:4:0,74+1% LX	R MPa	4,395	4,490	3,842	4,443	-13,52
1:4:0,80+5% LX	R MPa	5,747	5,979	5,634	5,863	-3,91
1:4:0,92+10% LX	R MPa	4,492	4,173	4,565	4,333	5,37
1:4:1,00+15% LX	R MPa	2,973	3,587	3,852	3,280	17,44
1:4:0,85+5% MK	R MPa	6,190	6,205	4,460	6,198	-28,04
1:4:0,87+10% MK	R MPa	6,663	6,228	6,469	6,446	0,36
1:4:0,88+15% MK	R MPa	6,617	7,281	5,277	6,949	-24,06
1:4:0,58+33% ME220	R MPa	6,699	5,844	6,006	6,272	-4,23
1:4:0,53+50% ME220	R MPa	4,803	4,897	5,200	4,850	7,22
1:5:1,00 REFERENCIA	R MPa	4,095	3,853	2,717	3,974	-31,63
1:5:0,86+1% LX	R MPa	3,381	2,263	2,552	2,822	-9,57
1:5:0,90+5% LX	R MPa	4,338	4,479	4,697	4,409	6,54
1:5:1,02+10% LX	R MPa	3,607	3,745	3,894	3,676	5,93
1:5:1,11+15% LX	R MPa	2,218	2,724	4,692	2,471	89,88
1:5:1,03+5% MK	R MPa	5,714	5,453	3,907	5,584	-30,03
1:5:1,05+10% MK	R MPa	5,492	4,065	4,117	4,779	-13,84
1:5:1,06+15% MK	R MPa	5,841	5,907	5,238	5,874	-10,83
1:5:0,69+33% ME220	R MPa	4,331	4,509	4,330	4,420	-2,04
1:5:0,62+50% ME220	R MPa	4,964	4,797	4,681	4,881	-4,09

Tabla nº 13.- Resultados de resistencia a flexión (DUR). Probetas de referencia envejecidas. Fuente: el autor.

e.2.- Resistencia a compresión: los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la resistencia a compresión, tras envejecimiento acelerado son los que se relacionan a continuación.

DOSIFICACIÓN	Uds	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:3:0,50 NORMALIZADA	R MPa	35,21	32,09	0,00	34,18	27,99	27,46	33,83	27,73	-18,04
1:3:0,63 REFERENCIA	R MPa	24,80	24,33	25,85	25,95	20,52	21,27	25,23	20,90	-17,19
1:3:0,65+1% LX	R MPa	20,27	19,91	21,31	21,39	16,89	17,51	20,72	17,20	-16,99
1:3:0,65+5% LX	R MPa	31,33	30,78	29,85	29,96	32,41	33,60	30,48	33,01	8,28
1:3:0,85+10% LX	R MPa	18,52	18,42	18,14	18,20	19,61	20,16	18,32	19,89	8,54
1:3:0,95+15% LX	R MPa	15,03	14,35	14,95	15,10	17,09	17,42	14,86	17,26	16,14
1:3:0,65+5% MK	R MPa	36,58	37,17	44,28	48,20	39,24	37,60	41,56	38,42	-7,55
1:3:0,70+10% MK	R MPa	40,16	40,80	39,93	43,46	37,30	35,74	41,09	36,52	-11,12
1:3:0,73+15% MK	R MPa	44,36	44,83	40,02	44,37	42,45	35,69	43,40	39,07	-9,97
1:3:0,47+33% ME220	R MPa	41,40	42,67	42,98	42,70	35,26	36,76	42,44	36,01	-15,15
1:3:0,43+50% ME220	R MPa	29,36	29,13	30,38	28,40	23,48	23,82	29,32	23,65	-19,33
1:4:0,77REFERENCIA	R MPa	22,67	22,79	22,38	22,76	15,49	16,07	22,65	15,78	-30,33
1:4:0,74+1% LX	R MPa	16,22	16,82	14,55	14,82	10,43	10,77	15,60	10,60	-32,06
1:4:0,80+5% LX	R MPa	21,68	21,74	20,49	20,64	22,77	21,75	21,14	22,26	5,31
1:4:0,92+10% LX	R MPa	15,74	15,46	14,38	15,00	15,58	16,53	15,15	16,06	6,01
1:4:1,00+15% LX	R MPa	8,93	9,35	10,33	10,52	13,12	13,78	9,78	13,45	37,49
1:4:0,85+5% MK	R MPa	31,06	30,30	31,34	29,59	22,94	22,34	30,57	22,64	-25,95
1:4:0,87+10% MK	R MPa	31,47	32,58	30,07	30,72	29,81	30,12	31,21	29,97	-3,99
1:4:0,88+15% MK	R MPa	33,64	33,99	29,52	34,04	32,65	35,24	32,80	33,95	3,50
1:4:0,58+33% ME220	R MPa	25,05	26,61	22,48	27,11	21,25	22,58	25,31	21,92	-13,42
1:4:0,53+50% ME220	R MPa	16,56	15,38	16,95	16,73	13,99	13,64	16,41	13,82	-15,79
1:5:1,00 REFERENCIA	R MPa	13,14	12,73	12,76	13,90	8,97	8,05	13,13	8,51	-35,20
1:5:0,86+1% LX	R MPa	10,23	9,99	9,25	9,33	6,20	6,23	9,70	6,22	-35,93
1:5:0,90+5% LX	R MPa	16,43	16,38	16,36	16,23	16,16	15,56	16,35	15,86	-3,00
1:5:1,02+10% LX	R MPa	13,61	14,63	14,36	14,98	13,45	15,81	14,40	14,63	1,63
1:5:1,11+15% LX	R MPa	5,90	4,34	5,80	7,03	11,96	12,00	5,77	11,98	107,72
1:5:1,03+5% MK	R MPa	17,96	17,64	17,46	16,61	10,79	11,51	17,42	11,15	-35,98
1:5:1,05+10% MK	R MPa	21,60	23,82	21,61	21,73	19,48	20,18	22,19	19,83	-10,64
1:5:1,06+15% MK	R MPa	30,86	30,74	30,50	30,70	27,40	27,44	30,70	27,42	-10,68
1:5:0,69+33% ME220	R MPa	15,70	15,11	13,87	14,33	11,67	11,68	14,75	11,68	-20,86
1:5:0,62+50% ME220	R MPa	17,73	18,01	17,24	16,97	13,25	14,88	17,49	14,07	-19,57

Tabla nº 14.- Resultados de resistencia a compresión (DUR). Probetas de referencia envejecidas. Fuente: el autor.

f.- **Absorción:** los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la absorción son los que se relacionan a continuación.

Imagen nº 32.- Ensayo de absorción. Fuente: el autor.

Imagen nº 33.-Juego completo de probetas del ensayo de absorción. Fuente: el autor.

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA	Coef.
1:3:0,50 NORMALIZADA	0,51	0,53	0,55	0,54	0,54	0,55	0,54	0,05
1:3:0,63 REFERENCIA	0,91	0,83	0,93	0,85	0,89	0,88	0,88	0,09
1:3:0,65+1% LX	0,61	1,01	0,63	0,63	0,63	0,62	0,69	0,07
1:3:0,65+5% LX	0,11	0,12	0,11	0,10	0,05	0,09	0,10	0,01
1:3:0,85+10% LX	0,15	0,18	0,14	0,09	0,14	0,20	0,15	0,02
1:3:0,95+15% LX	0,28	0,24	0,35	0,26	0,24	0,25	0,27	0,03
1:3:0,65+5% MK	0,37	0,36	0,35	0,37	0,33	0,33	0,35	0,04
1:3:0,70+10% MK	0,33	0,27	0,32	0,33	0,41	0,33	0,33	0,03
1:3:0,73+15% MK	0,26	0,29	0,28	0,29	0,27	0,27	0,28	0,03
1:3:0,47+33% ME220	0,34	0,33	0,36	0,33	0,35	0,35	0,34	0,03
1:3:0,43+50% ME220	0,33	0,33	0,29	0,32	0,33	0,32	0,32	0,03
1:4:0,77REFERENCIA	0,89	0,86	0,85	0,81	0,81	0,82	0,84	0,08
1:4:0,74+1% LX	0,58	0,56	0,55	0,52	0,59	0,58	0,56	0,06
1:4:0,80+5% LX	0,11	0,20	0,11	0,11	0,14	0,10	0,13	0,01
1:4:0,92+10% LX	0,13	0,14	0,15	0,13	0,18	0,10	0,14	0,01
1:4:1,00+15% LX	0,20	0,19	0,23	0,19	0,26	0,25	0,22	0,02
1:4:0,85+5% MK	0,71	0,74	0,70	0,73	0,71	0,68	0,71	0,07
1:4:0,87+10% MK	0,59	0,60	0,61	0,56	0,60	0,59	0,59	0,06
1:4:0,88+15% MK	0,58	0,62	0,58	0,60	0,56	0,59	0,59	0,06
1:4:0,58+33% ME220	0,43	0,44	0,42	0,43	0,42	0,43	0,43	0,04
1:4:0,53+50% ME220	0,48	0,49	0,50	0,51	0,49	0,49	0,49	0,05
1:5:1,00 REFERENCIA	1,22	1,27	1,18	1,24	1,15	1,26	1,22	0,12
1:5:0,86+1% LX	0,67	0,63	0,60	0,57	0,62	0,62	0,62	0,06
1:5:0,90+5% LX	0,28	0,26	0,25	0,23	0,18	0,21	0,24	0,02
1:5:1,02+10% LX	0,50	0,49	0,36	0,34	0,20	0,16	0,34	0,03
1:5:1,11+15% LX	0,23	0,25	0,26	0,23	0,23	0,20	0,23	0,02
1:5:1,03+5% MK	1,17	1,10	1,12	1,12	1,09	1,10	1,12	0,11
1:5:1,05+10% MK	0,82	0,86	0,81	0,86	0,89	0,85	0,85	0,08
1:5:1,06+15% MK	0,84	0,82	0,85	0,84	0,89	0,92	0,86	0,09
1:5:0,69+33% ME220	0,59	0,57	0,61	0,63	0,58	0,60	0,60	0,06
1:5:0,62+50% ME220	0,58	0,59	0,57	0,58	0,52	0,58	0,57	0,06

Tabla nº 15.- Resultados de los ensayos de absorción de cada dosificación. Fuente: el autor. Coeficiente en Kg/(m² x Min^{0.5}).

g.- Adherencia: Los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la adherencia son los que se relacionan a continuación.

Imagen nº 34.- Ensayo de adherencia. Fuente: el autor.

ADHERENCIA N/mm ²							
DOSIFICACIÓN	P1	P2	P3	P4	P5	MEDIA	F adh
1:3:0,50 NORMALIZADA	1.100,00	1.000,00	1.150,00	1.150,00	1.200,00	1.120,00	0,570
1:3:0,63 REFERENCIA	400,00	500,00	450,00	500,00	400,00	450,00	0,229
1:3:0,65+1% LX	1.200,00	600,00	300,00	450,00	450,00	600,00	0,306
1:3:0,65+5% LX	950,00	1.500,00	1.050,00	875,00	900,00	1.055,00	0,537
1:3:0,85+10% LX	800,00	800,00	850,00	850,00	700,00	800,00	0,407
1:3:0,95+15% LX	200,00	600,00	580,00	950,00	580,00	582,00	0,296
1:3:0,65+5% MK	1.000,00	1.500,00	1.400,00	1.250,00	1.600,00	1.350,00	0,688
1:3:0,70+10% MK	1.800,00	400,00	1.100,00	550,00	1.050,00	980,00	0,499
1:3:0,73+15% MK	1.100,00	1.150,00	1.100,00	600,00	1.450,00	1.080,00	0,550
1:3:0,47+33% ME220	900,00	850,00	1.000,00	850,00	850,00	890,00	0,453
1:3:0,43+50% ME220	800,00	900,00	850,00	800,00	700,00	810,00	0,413
1:4:0,77REFERENCIA	900,00	800,00	1.100,00	900,00	850,00	910,00	0,463
1:4:0,74+1% LX	300,00	300,00	350,00	300,00	250,00	300,00	0,153
1:4:0,80+5% LX	1.100,00	1.150,00	1.200,00	1.200,00	1.250,00	1.180,00	0,601
1:4:0,92+10% LX	1.150,00	1.200,00	1.150,00	1.200,00	1.400,00	1.220,00	0,621
1:4:1,00+15% LX	800,00	600,00	800,00	800,00	500,00	700,00	0,357
1:4:0,85+5% MK	600,00	600,00	450,00	550,00	450,00	530,00	0,270
1:4:0,87+10% MK	1.050,00	750,00	600,00	600,00	800,00	760,00	0,387
1:4:0,88+15% MK	1.300,00	2.200,00	2.025,00	1.650,00	1.800,00	1.795,00	0,914
1:4:0,58+33% ME220	650,00	750,00	700,00	750,00	800,00	730,00	0,372
1:4:0,53+50% ME220	750,00	800,00	600,00	600,00	650,00	680,00	0,346
1:5:1,00 REFERENCIA	800,00	850,00	700,00	650,00	800,00	760,00	0,387
1:5:0,86+1% LX	200,00	200,00	200,00	150,00	250,00	200,00	0,102
1:5:0,90+5% LX	600,00	1.050,00	800,00	650,00	900,00	800,00	0,407
1:5:1,02+10% LX	650,00	350,00	1.000,00	950,00	800,00	750,00	0,382
1:5:1,11+15% LX	900,00	350,00	850,00	500,00	600,00	640,00	0,326
1:5:1,03+5% MK	600,00	500,00	1.150,00	800,00	600,00	730,00	0,372
1:5:1,05+10% MK	850,00	1.350,00	1.000,00	825,00	925,00	990,00	0,504
1:5:1,06+15% MK	800,00	450,00	675,00	1.000,00	350,00	655,00	0,334
1:5:0,69+33% ME220	200,00	300,00	350,00	400,00	350,00	320,00	0,163
1:5:0,62+50% ME220	250,00	250,00	250,00	300,00	400,00	290,00	0,148

Tabla nº 16.- Resultados de los ensayos de adherencia de cada dosificación. Fuente: el autor.

h.- Retracción: los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la retracción son los que se relacionan a continuación. Se ha realizado mediciones hasta la fecha, pero a efectos de esta investigación se tienen en cuenta las realizadas hasta el primer año. Concretamente, las mediciones se han realizado a los 3, a los 7 y a los 28 días, siguiendo la norma, aunque también se han obtenido medidas a 2, 14, 28, 60, 90, 120 y 365 días.

Imagen nº 35.- Preparación de probetas de retracción. Fuente: el autor.

RETRACCIÓN mm					
DOSIFICACIÓN	28 días	60 días	90 días	120 días	365 días
1:3:0,50 NORMALIZADA	0,5212	0,6080	0,6914	0,7732	0,8540
1:3:0,63 REFERENCIA	0,4924	0,5654	0,6350	0,7032	0,7704
1:3:0,65+1% LX	0,4848	0,5602	0,6314	0,7016	0,7708
1:3:0,65+5% LX	0,5332	0,6084	0,6806	0,7508	0,8200
1:3:0,85+10% LX	0,4150	0,4806	0,5454	0,6092	0,6720
1:3:0,95+15% LX	0,5074	0,5918	0,6750	0,7570	0,8378
1:3:0,65+5% MK	0,5390	0,6112	0,6802	0,7472	0,8132
1:3:0,70+10% MK	0,6332	0,7226	0,8082	0,8914	0,9730
1:3:0,73+15% MK	0,5634	0,6416	0,7174	0,7914	0,8646
1:3:0,47+33% ME220	0,5570	0,6394	0,7198	0,7990	0,8770
1:3:0,43+50% ME220	0,4792	0,5498	0,6190	0,6874	0,7550
1:4:0,77REFERENCIA	0,5050	0,5948	0,6812	0,7664	0,8508
1:4:0,74+1% LX	0,6496	0,7416	0,8314	0,9198	1,0070
1:4:0,80+5% LX	0,6820	0,7844	0,8848	0,9844	1,0832
1:4:0,92+10% LX	0,5304	0,6218	0,7114	0,7996	0,8864
1:4:1,00+15% LX	0,3886	0,4520	0,5136	0,5742	0,6338
1:4:0,85+5% MK	0,5768	0,6572	0,7342	0,8094	0,8838
1:4:0,87+10% MK	0,5226	0,5956	0,6656	0,7340	0,8016
1:4:0,88+15% MK	0,5892	0,6736	0,7546	0,8328	0,9096
1:4:0,58+33% ME220	0,4564	0,5242	0,5910	0,6570	0,7222
1:4:0,53+50% ME220	0,5020	0,5804	0,6578	0,7342	0,8098
1:5:1,00 REFERENCIA	0,6552	0,7506	0,8434	0,9354	1,0266
1:5:0,86+1% LX	0,5250	0,6014	0,6768	0,7512	0,8248
1:5:0,90+5% LX	0,5200	0,5928	0,6642	0,7342	0,8034
1:5:1,02+10% LX	0,6690	0,7648	0,8592	0,9522	1,0442
1:5:1,11+15% LX	0,5986	0,6874	0,7730	0,8574	0,9418
1:5:1,03+5% MK	0,6340	0,7296	0,8236	0,9164	1,0080
1:5:1,05+10% MK	0,5170	0,5922	0,6656	0,7376	0,8088
1:5:1,06+15% MK	0,3890	0,4456	0,5008	0,5552	0,6088
1:5:0,69+33% ME220	0,5288	0,6120	0,6942	0,7540	0,8558
1:5:0,62+50% ME220	0,3952	0,4652	0,5344	0,6028	0,6704

Tabla nº 17.- Resultados de las mediciones de retracción. Fuente: el autor.

i.- Difracción de rayos X: La unidad de rayos X del laboratorio del CAI de Técnica Geológicas posee un difractómetro de polvo marca Bruker D8 Advance, con una antigüedad de 15 años. Está dotado de una fuente rayos X con ánodo de cobre, de alta estabilidad, y un detector SOL-X de dispersión de energías y gran área activa para la difracción de rayos X.

El difractómetro trabaja en geometría Bragg-Brentano y dispone de un intercambiador de muestras automático. El software que utiliza el equipo para la adquisición, tratamiento y evaluación de los datos difractométricos es el DIFFRAC plus.

El equipo presenta un alto rendimiento y fiabilidad en investigación básica y aplicada para el estudio de materiales y está homologado por el Consejo de Seguridad Nuclear, pasando las revisiones periódicas normativas.

Los morteros modificados, elegidos para realizar el ensayo de difracción de rayos X y de microscopía electrónica de barrido, han sido los tres que mejor resultados han dado en el ensayo de adherencia, con cada uno de los tres productos elegidos. Estos son los siguientes:

- .- Látex (polímero acrílico): 1:4:0,92+10% Lx
- .- Resina base acuosa (copolímero estireno-butadieno): 1:3:0,47+33% Me220
- .- Metacaolín: 1:4:0,88+15% Mk

Se han obtenido los siguientes resultados de los ensayos realizados.

i.1.- Látex (polímero acrílico)1:4:0,92+10% Lx: se muestra el espectrograma correspondiente a este mortero y la tabla de composición en la imagen nº 29 y en la tabla nº 18

Imagen nº 36.- Espectrograma de la muestra modificada con látex. Fuente: CAI-UCM

<div> <div> </div> <div> <div>LX - File: LX.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: Operations: Import</div> </div> </div>	
<div></div>	00-046-1045 (*) - Quartz, syn - S-Q 32.4 % - SiO2 - Y: 94.21 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.9134
<div></div>	01-083-1658 (C) - Albite high - S-Q 26.5 % - (K0.22Na0.78)(AlSi3O8) - Y: 14.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tri
<div></div>	01-082-0577 (C) - Muscovite 2M1 - S-Q 5.6 % - KAl2(AlSi3O10)(OH)2 - Y: 1.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
<div></div>	01-075-1190 (C) - Orthoclase - S-Q 19.7 % - K(AlSi3)O8 - Y: 11.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a
<div></div>	01-083-1762 (C) - Calcite - S-Q 3.6 % - Ca(CO3) - Y: 10.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.9
<div></div>	01-085-1378 (C) - Hartrurite - synthetic - S-Q 2.1 % - Ca3(SiO4)O - Y: 1.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monocl
<div></div>	00-033-0302 (*) - Larnite, syn - S-Q 4.0 % - Ca2SiO4 - Y: 2.76 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.310
<div></div>	00-044-1481 (*) - Portlandite, syn - S-Q 4.1 % - Ca(OH)2 - Y: 10.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a
<div></div>	00-033-0311 (*) - Gypsum, syn - S-Q 1.9 % - CaSO4·2H2O - Y: 2.98 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a

Tabla nº 18.- composición espectrográfica de la muestra modificada con látex. Fuente: CAI-UCM

i.2.- Resina de base acuosa (copolímero estireno-butadieno)1:3:0,47+33% Me220, se muestra el espectrograma correspondiente a este mortero y la tabla de composición en la imagen nº 30 y en la tabla nº 19

Imagen nº 37.- Espectrograma de la muestra modificada con resina. Fuente: CAI-UCM

MEZZO - File: MEZZO.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1.	
Operations: Import	
00-046-1045 (*) - Quartz, syn - S-Q 34.0 % - SiO ₂ - Y: 94.56 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.9134	
01-083-1658 (C) - Albite high - S-Q 13.9 % - (K _{0.22} Na _{0.78})(AlSi ₃ O ₈) - Y: 7.03 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tric	
01-082-0577 (C) - Muscovite 2M1 - S-Q 4.2 % - KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂ - Y: 1.33 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo	
01-075-1190 (C) - Orthoclase - S-Q 22.1 % - K(AlSi ₃)O ₈ - Y: 12.24 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a	
01-083-1762 (C) - Calcite - S-Q 4.7 % - Ca(CO ₃) - Y: 12.49 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.9	
01-085-1378 (C) - Hartrurite - synthetic - S-Q 1.0 % - Ca ₃ (SiO ₄)O - Y: 0.63 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monocl	
00-033-0302 (*) - Larnite, syn - S-Q 2.7 % - Ca ₂ SiO ₄ - Y: 1.76 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.310	
00-044-1481 (*) - Portlandite, syn - S-Q 2.1 % - Ca(OH) ₂ - Y: 5.05 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.	
00-033-0311 (*) - Gypsum, syn - S-Q 1.4 % - CaSO ₄ ·2H ₂ O - Y: 2.11 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a	
01-084-0654 (C) - Wollastonite 1T - S-Q 14.0 % - CaSiO ₃ - Y: 10.39 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 7.	

Tabla nº 19.- composición espectrográfica de la muestra modificada con resina. Fuente: CAI-UCM

i.3.- Metacaolín: 1:4:0,88+15% Mk, se muestra el espectrograma correspondiente a este mortero y la tabla de composición en la imagen nº 31 y en la tabla nº 20

Imagen nº 38.- Espectrograma de la muestra modificada con metacaolín. Fuente: CAI-UCM

MK - File: MK.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp. Operations: Import	
00-046-1045 (*) - Quartz, syn - S-Q 42.3 % - SiO ₂ - Y: 97.12 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.9134	
01-083-1658 (C) - Albite high - S-Q 18.9 % - (K _{0.22} Na _{0.78})(AlSi ₃ O ₈) - Y: 7.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tric	
01-082-0577 (C) - Muscovite 2M1 - S-Q 5.9 % - KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂ - Y: 1.54 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo	
01-075-1190 (C) - Orthoclase - S-Q 17.9 % - K(AlSi ₃)O ₈ - Y: 8.21 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.	
01-083-1762 (C) - Calcite - S-Q 4.8 % - Ca(CO ₃) - Y: 10.49 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.9	
00-033-0302 (*) - Larnite, syn - S-Q 7.9 % - Ca ₂ SiO ₄ - Y: 4.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.310	
00-044-1481 (*) - Portlandite, syn - S-Q 1.1 % - Ca(OH) ₂ - Y: 2.11 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.	
01-084-1208 (C) - Dolomite - S-Q 1.3 % - CaMg(CO ₃) ₂ - Y: 2.19 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes -	

Tabla nº 20.- composición espectrográfica de la muestra modificada con metacaolín. Fuente: CAI-UCM

j.- Microscopía electrónica de barrido: la unidad posee un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-820 con microanálisis. El software que utiliza el equipo para la adquisición, tratamiento y evaluación de los análisis es el EDX Oxford ISIS-Link.

Las muestras sometidas a este ensayo son las mismas que en de DRX.

j.1.- Látex (polímero acrílico)1:4:0,92+10% Lx: se muestran las imágenes SEM correspondientes a este mortero en las imágenes nº 32, 33, 34 y 35.

Imágenes nº 39, 40, 41 y 42.- SEM de la muestra de mortero de látex. De izquierda a derecha y de arriba abajo las escalas son 20x, 50x, 1000x y 2000x respectivamente.
Fuente: CAI-UCM

j.2.- Resina de base acuosa (copolímero estireno-butadieno) 1:3:0,47+33% Me220, se muestran las imágenes SEM correspondiente a este mortero en las imágenes nº 36, 37, 38 y 39.

Imágenes nº 43, 44, 45 y 46.- SEM de la muestra de mortero de resina de base acuosa.
De izquierda a derecha y de arriba abajo las escalas son 20x, 50x, 1000x y 2000x
respectivamente. Fuente: CAI-UCM

j.3.- Metacaolín 1:4:0,88+15% Mk, se muestran las imágenes SEM correspondiente a este mortero en las imágenes nº 40, 41, 42 y 43.

Imágenes nº 47, 48, 49 y 50.- BSE y SEM de la muestra de mortero de metacaolín. De izquierda a derecha y de arriba abajo las escalas son 20x, 50x, 1000x y 2000x respectivamente. Fuente: CAI-UCM

k.- Estudio de costes: la fabricación de resinas en la actualidad es una actividad en alza, económica y tecnológicamente asequible. Según datos de FEIQUE (Federación empresarial de la industria química española), el químico es un sector innovador y estratégico para la economía de este país.

Por otro lado, el metacaolín es, como ya se ha dicho, un material silicoaluminoso activado por deshidratación de caolín ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9\text{H}_4$). Para lograr esta deshidratación, se calcina la materia prima entre 650 a 800° C, lo cual es menos de la mitad de la temperatura a la que se fabrica el cemento 1500 a 1600° C, con el consiguiente reducción de coste.

Imagen nº 51.- Gráfico de evolución del precio del cemento. Fuente: INE.

El precio del cemento mantiene una subida constante, desde hace muchos años, con las debidas variaciones coyunturales y el efecto de los periodos de crisis. Por esta razón la búsqueda de materiales que abarate el precio de los morteros y hormigones.

Haciendo uso de los datos de suministro de materiales en la realización de este trabajo, se ha elaborado una comparativa de precios valorando todas las dosificaciones utilizadas.

DOSIFICACIÓN	PESOS				€/Kg	DENSIDAD	€/l	€/m³
ADITIVO	C	S	W	A				
CONTROL 1:3 0,50	1,0	3,0	0,50	0,00	0,27	2,13	0,58	579,83
REFERENCIA 1:3 0,63	1,0	3,0	0,63	0,00	0,05	2,15	0,10	104,48
REFERENCIA 1:4 0,77	1,0	4,0	0,77	0,00	0,05	2,02	0,09	94,52
REFERENCIA 1:5 1,00	1,0	5,0	1,00	0,00	0,05	2,10	0,09	94,50
LÁTEX 1:3 1% 0,65	1,0	3,0	0,65	0,01	0,05	2,00	0,10	96,57
LÁTEX 1:3 5% 0,65	1,0	3,0	0,65	0,05	0,05	2,12	0,10	101,49
LÁTEX 1:3 10% 0,85	1,0	3,0	0,85	0,10	0,05	1,95	0,09	88,64
LÁTEX 1:3 15% 0,95	1,0	3,0	0,95	0,15	0,04	1,93	0,09	85,15
LÁTEX 1:4 1% 0,74	1,0	4,0	0,74	0,01	0,05	1,91	0,09	89,69
LÁTEX 1:4 5% 0,80	1,0	4,0	0,80	0,05	0,05	2,04	0,09	94,15
LÁTEX 1:4 10% 0,92	1,0	4,0	0,92	0,10	0,04	1,89	0,08	84,77
LÁTEX 1:4 15% 1,00	1,0	4,0	1,00	0,15	0,04	1,90	0,08	83,41
LÁTEX 1:5 1% 0,86	1,0	5,0	0,86	0,01	0,05	1,92	0,09	88,03
LÁTEX 1:5 5% 0,90	1,0	5,0	0,90	0,05	0,05	1,93	0,09	87,47
LÁTEX 1:5 10% 1,02	1,0	5,0	1,02	0,10	0,04	1,98	0,09	87,60
LÁTEX 1:5 15% 1,11	1,0	5,0	1,11	0,15	0,04	2,03	0,09	88,08
METAKAOLIN 1:3 5% 0,65	1,0	3,0	0,65	0,05	0,05	2,14	0,10	102,45
METAKAOLIN 1:3 10% 0,70	1,0	3,0	0,70	0,10	0,05	2,12	0,10	99,38
METAKAOLIN 1:3 15% 0,73	1,0	3,0	0,73	0,15	0,05	2,12	0,10	97,75
METAKAOLIN 1:4 5% 0,85	1,0	4,0	0,85	0,05	0,05	2,13	0,10	97,47
METAKAOLIN 1:4 10% 0,87	1,0	4,0	0,87	0,10	0,05	2,12	0,10	95,88
METAKAOLIN 1:4 15% 0,88	1,0	4,0	0,88	0,15	0,04	2,13	0,10	95,37
METAKAOLIN 1:5 5% 1,03	1,0	5,0	1,03	0,05	0,04	2,11	0,09	93,88
METAKAOLIN 1:5 10% 1,05	1,0	5,0	1,05	0,10	0,04	2,10	0,09	92,52
METAKAOLIN 1:5 15% 1,06	1,0	5,0	1,06	0,15	0,04	2,10	0,09	91,75
ME220 1:3 33% 0,47	1,0	3,0	0,47	0,33	0,05	2,11	0,10	98,91
ME220 1:3 50% 0,43	1,0	3,0	0,43	0,55	0,05	1,97	0,09	89,01
ME220 1:4 33% 0,58	1,0	4,0	0,58	0,33	0,05	1,96	0,09	89,54
ME220 1:4 50% 0,53	1,0	4,0	0,53	0,55	0,04	1,91	0,08	84,82
ME220 1:5 33% 0,69	1,0	5,0	0,69	0,33	0,04	1,97	0,09	88,40
ME220 1:5 50% 0,62	1,0	5,0	0,62	0,55	0,04	1,91	0,08	83,91

Tabla nº 21.- Precios de cada una de las dosificaciones utilizadas. Fuente: el autor.

5.2.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se realiza la discusión y análisis de los resultados expresados en el punto anterior. Se incluye el análisis estadístico del conjunto de datos obtenido, cuando la aportación de este aspecto es relevante para el análisis realizado. Se corresponde con la Fase IV del Plan Experimental

a.- Densidad en fresco: los resultados expresados en el gráfico adjunto permiten hacer las siguientes observaciones:

.- Los valores de los morteros modificados son menores que los de la muestra normalizada, a excepción de la dosificación 1:3:0,65+5% MK, que la supera en una centésima.

.- Este comportamiento se mantiene en la comparación entre el mortero de referencia, de cada relación cemento/arena y los modificados correspondientes, a excepción de los morteros adicionados con metacaolín que los superan o igualan en todas las variantes.

.- Los morteros modificados con látex son los que dan valores más bajos de densidad.

Imagen nº 52.- Resultados de los ensayos de densidad en fresco. Fuente: el autor.

b.- Resistencia a flexión: los resultados en cuanto a la resistencia a flexión, permiten hacer las siguientes observaciones.

Las resistencias de los tres morteros de referencia, 1:3, 1:4 y 1:5, se encuentran por debajo del mortero de comparación (1:3 normalizada), manteniendo una secuencia ordenada en relación inversa a la cantidad de arena, lo que indica, como cabía esperar, que la arena comercial es menos adecuada que la normalizada y que la riqueza en conglomerante redonda en la resistencia.

Imagen nº 53.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión de las probetas de referencia – Fuente: el autor.

Se aprecia un buen comportamiento del metacaolín, donde la ratio de las dosificaciones que mejoran a la de comparación (1:3 arena normalizada) es de 4/9 (44,44%) y superando una de ellas los seis Mega Pascales, que en el caso de la dosificación 1:4 10% MK, supone aumentar un 18,8% el valor de comparación.

En cuanto a la comparación con los morteros de referencia, la situación es más favorable, ya que 15/27 (55,55%) superan a su mortero de referencia. 1/12 (8,33%) de las de látex, 8/9 (88,88%) de las de metacaolín y 6/6 (100%) de la de resina de base acuosa.

Se puede afirmar que el uso del látex reduce las resistencias a flexión, dado que la única dosificación que supera a la de referencia es la 1:5 5% Lx, las de menor resistencia y además por apenas un 2,25%.

El metacaolín presenta un mejor comportamiento medio para las tres proporciones cemento/arena utilizadas. Prácticamente el cien por cien de las dosificaciones supera al mortero de referencia, con la excepción del 1:5 5% Mk, que de nuevo está en la zona de los menos resistentes y que se queda a la exigua diferencia de un 2,98%.

La resina comercial de base acuosa tiene un comportamiento muy positivo, superando el 100% de las dosificaciones a sus morteros de referencia correspondientes.

b.1.- Mortero adicionado con látex: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:3:0,50 NORMALIZADA	R Mpa	4,950	5,194	5,463	5,202
1:3:0,63 REFERENCIA	R Mpa	4,760	4,808	4,647	4,738
1:3:0,65+1% LX	R Mpa	3,202	3,167	3,170	3,180
1:3:0,65+5% LX	R Mpa	4,515	4,524	4,914	4,651
1:3:0,85+10% LX	R Mpa	2,939	2,920	3,063	2,974
1:3:0,95+15% LX	R Mpa	2,337	2,260	2,321	2,306

Tabla nº 22.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. 1:3 (c/s) - látex. Fuente: el autor.

.- El uso de la arena comercial rebaja la resistencia a flexión de la masa 1:3:0,5 Normalizada - $\bar{x} = 5,202$ MPa > 1:3:0,63 Referencia - $\bar{x} = 4,738$ MPa.

.- Ninguna de las cuatro proporciones utilizadas, de látex, superan la resistencia a flexión del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%. Ocupando el segundo lugar en cuando a cantidad de látex.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%. Siendo la que más cantidad de látex aporta.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, produciéndose un comportamiento no lineal.

Imagen nº 54.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 látex. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:4:0,77REFERENCIA	R Mpa	3,137	3,260	3,206	3,201
1:4:0,74+1% LX	R Mpa	3,134	3,110	3,277	3,174
1:4:0,80+5% LX	R Mpa	3,058	3,269	3,151	3,159
1:4:0,92+10% LX	R Mpa	2,345	2,213	2,366	2,308
1:4:1,00+15% LX	R Mpa	2,035	2,125	2,216	2,125

Tabla nº 23.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 - látex. Fuente: el autor.

.- Ninguna de las proporciones superan la resistencia a flexión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 1%. La que menos látex aporta.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%. La que más látex aporta.

.- El empeoramiento tiene una relación directa con la cantidad de látex.

Imagen nº 55.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 - látex. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:5:1,00 REFERENCIA	R Mpa	2,919	2,793	2,684	2,799
1:5:0,86+1% LX	R Mpa	2,487	2,459	2,473	2,473
1:5:0,90+5% LX	R Mpa	2,709	2,896	2,982	2,862
1:5:1,02+10% LX	R Mpa	2,488	2,573	2,631	2,564
1:5:1,11+15% LX	R Mpa	2,091	2,178	2,003	2,091

Tabla nº 24.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 - látex. Fuente: el autor.

.- Solo una de las proporciones superan la resistencia a flexión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%. Ocupando el segundo lugar en cuando a cantidad de látex. Con un incremento del 2,25%.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%. Siendo la que más cantidad de látex aporta.

.- Las diferencias con la referencia no tienen relación directa con la cantidad de látex, con un comportamiento similar a una campana de Gauss. Se amortigua la diferencia entre las proporciones.

Imagen nº 56.- Grafico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 - látex. Fuente: el autor.

b.2.- Mortero adicionado con metacaolín: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:3:0,50 NORMALIZADA	R Mpa	4,950	5,194	5,463	5,202
1:3:0,63 REFERENCIA	R Mpa	4,760	4,808	4,647	4,738
1:3:0,65+5% MK	R Mpa	5,695	5,785	5,683	5,721
1:3:0,70+10% MK	R Mpa	5,029	5,038	5,646	5,238
1:3:0,73+15% MK	R Mpa	5,623	5,699	5,201	5,508

Tabla nº 25.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 - metacaolín.
Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas superan tanto la resistencia a flexión de la muestra de comparación, como la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%. Ocupando el último lugar en cuando a cantidad de metacaolín aportado.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 10%. Siendo la que aporta una cantidad media de metacaolín.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de metacaolín, produciéndose un comportamiento inverso a una campana de Gauss. La diferencia entre las dosificaciones con metacaolín y la de referencia, es apreciable.

Imagen nº 57.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 - metacaolín. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:4:0,77REFERENCIA	R Mpa	3,137	3,260	3,206	3,201
1:4:0,85+5% MK	R Mpa	4,653	4,782	4,296	4,577
1:4:0,87+10% MK	R Mpa	5,856	6,352	6,329	6,179
1:4:0,88+15% MK	R Mpa	5,499	5,953	3,170	4,874

Tabla nº 26.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 - metacaolín.
Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas superan la adherencia de la muestra de referencia.

.- La que mejor se comporta es la del 10%, que prácticamente duplica la resistencia de referencia y la que peor la del 5%, a pesar de lo cual supera a la referencia en un 50%.

.- La mejora tiene también forma de campana de Gauss.

Imagen nº 58.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 – metacaolín. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:5:1,00 REFERENCIA	R Mpa	2,919	2,793	2,684	2,799
1:5:1,03+5% MK	R Mpa	2,711	2,877	2,566	2,718
1:5:1,05+10% MK	R Mpa	4,494	4,259	4,560	4,438
1:5:1,06+15% MK	R Mpa	3,362	3,110	3,414	3,295

Tabla nº 27.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 - metacaolín. Fuente: el autor.

.- Dos de las tres proporciones utilizadas, superan la adherencia de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 10%. Ocupando el lugar medio en cuando a cantidad de metacaolín aportado.

.- La proporción al 5% tiene el peor comportamiento.

.- La mejora es en forma de campana de Gauss, con arreglo a las proporciones de metacaolín.

Imagen nº 59.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

b.3.- Mortero adicionado con resina de base acuosa: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:3:0,50 NORMALIZADA	R Mpa	4,950	5,194	5,463	5,202
1:3:0,63 REFERENCIA	R Mpa	4,760	4,808	4,647	4,738
1:3:0,47+33% ME220	R Mpa	4,833	4,634	4,840	4,769
1:3:0,43+50% ME220	R Mpa	5,074	5,225	4,792	5,030

Tabla nº 28.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 - resina. Fuente: el autor.

.- Las dos proporciones utilizadas superan la resistencia a flexión del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 50%. Ocupando el primer lugar en cuando a cantidad de resina aportada. Con un incremento apreciable.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 33%. Siendo la que aporta una cantidad menor de resina, con un incremento de la resistencia mínimo.

.- La mejora no es inversa a la cantidad de resina aportada. Hay poca diferencia entre las dosificaciones con resina de base acuosa y la de referencia.

Imagen nº 60.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 – resina. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:4:0,77REFERENCIA	R Mpa	3,137	3,260	3,206	3,201
1:4:0,58+33% ME220	R Mpa	4,758	4,969	4,746	4,824
1:4:0,53+50% ME220	R Mpa	3,715	3,761	3,737	3,738

Tabla nº 29.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

.- Las dos proporciones utilizadas superan la adherencia del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%, con menor cantidad de resina aportada.

.- Consecuentemente, la proporción que peor comportamiento tiene es la del 50%.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada.

Imagen nº 61.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:5:1,00 REFERENCIA	R Mpa	2,919	2,793	2,684	2,799
1:5:0,69+33% ME220	R Mpa	5,024	5,120	5,144	5,096
1:5:0,62+50% ME220	R Mpa	3,857	3,677	3,760	3,765

Tabla nº 30.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 (c/s) - resina. Fuente: el autor.

.- Las dos proporciones utilizadas superan la adherencia del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%, con menor cantidad de resina aportada, casi duplicando la resistencia de referencia.

.- Consecuentemente, la proporción que peor comportamiento tiene es la del 50%.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada.

Imagen nº 62.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 – resina. Fuente: el autor.

b.4.- Resumen compendio de los resultados: a modo de compendio-resumen, se enumeran en el cuadro siguiente las dosificaciones exitosas a efectos de resistencia a flexión.

DOSIFICACIÓN	Uds	P1	P2	P3	MEDIA
1:3:0,65+5% MK	R Mpa	5,695	5,785	5,683	5,721
1:3:0,70+10% MK	R Mpa	5,029	5,038	5,646	5,238
1:3:0,73+15% MK	R Mpa	5,623	5,699	5,201	5,508
1:3:0,47+33% ME220	R Mpa	4,833	4,634	4,840	4,769
1:3:0,43+50% ME220	R Mpa	5,074	5,225	4,792	5,030
1:4:0,85+5% MK	R Mpa	4,653	4,782	4,296	4,577
1:4:0,87+10% MK	R Mpa	5,856	6,352	6,329	6,179
1:4:0,88+15% MK	R Mpa	5,499	5,953	3,170	4,874
1:4:0,58+33% ME220	R Mpa	4,758	4,969	4,746	4,824
1:4:0,53+50% ME220	R Mpa	3,715	3,761	3,737	3,738
1:5:0,90+5% LX	R Mpa	2,709	2,896	2,982	2,862
1:5:1,05+10% MK	R Mpa	4,494	4,259	4,560	4,438
1:5:1,06+15% MK	R Mpa	3,362	3,110	3,414	3,295
1:5:0,69+33% ME220	R Mpa	5,024	5,120	5,144	5,096
1:5:0,62+50% ME220	R Mpa	3,857	3,677	3,760	3,765

Tabla nº 31.- Dosificaciones exitosas a efectos de resistencia a flexión. Fuente: el autor.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que, de las adiciones elegidas, dos, el metacaolín y la resina de base acuosa, proporcionan una mayor resistencia a flexión a las mezclas a las que se incorporan, mientras que el látex, en general, hace descender la resistencia a flexión.

c.- Resistencia a compresión: los resultados obtenidos en cuanto a resistencia a compresión, son los que se relacionan a continuación.

Las resistencias de los tres morteros de referencia, 1:3, 1:4 y 1:5, se encuentran por debajo del mortero de comparación (1:3 normalizada), manteniendo una secuencia ordenada en relación inversa a la cantidad de arena.

Imagen nº 63.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas de referencia. Fuente: el autor.

Se aprecia un mal comportamiento de todas las adiciones en lo que se refiere a este apartado. Solo 1/27 supera al mortero de comparación, el metacaolín 1:3 15%.

En cuanto a comportamiento general de las distintas dosificaciones, con respecto a las de referencia, 12/27 supera a su mortero de referencia, 44,44%. El 100% de las de metacaolín 9/9, el 50% de las de resina de base acuosa 3/6 y el 0% de las de látex 0/12.

Tanto el látex como el metacaolín presentan un comportamiento directamente lineal entre la mayor proporción de cemento y la mejora de la resistencia a compresión. Sin embargo, la resina de base acuosa tiene un comportamiento mejor, del orden del 20% entre la relación 1:5 y la 1:4.

c.1.- Mortero adicionado con látex: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:3:0,50 NORMALIZADA	29,39	29,26	29,45	30,84	30,62	29,93	29,92
1:3:0,63 REFERENCIA	19,15	19,09	17,98	18,22	18,95	18,83	18,70
1:3:0,65+1% LX	10,38	10,67	10,48	10,11	10,08	10,04	10,29
1:3:0,65+5% LX	13,81	13,28	12,99	13,33	12,47	13,13	13,17
1:3:0,85+10% LX	7,66	8,26	8,36	7,71	7,62	7,15	7,79
1:3:0,95+15% LX	5,36	5,51	5,41	5,51	5,47	5,62	5,48

Tabla nº 32.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 - látex. Fuente: el autor.

.- El uso de la arena comercial rebaja, considerablemente, la resistencia a compresión de la masa 1:3:0,5 Normalizada - $\bar{x} = 29,92 \text{ MPa} > 1:3:0,63$ Referencia - $\bar{x} = 18,70 \text{ MPa}$.

.- Ninguna de las cuatro proporciones de látex utilizadas superan la resistencia a compresión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%. Ocupando el segundo lugar en cuando a cantidad de látex.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%. Siendo la que más cantidad de látex aporta.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, produciéndose un comportamiento similar a una campana de Gauss.

Imagen nº 64.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 - látex. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:4:0,77REFERENCIA	11,09	11,00	11,17	11,78	11,52	11,27	11,31
1:4:0,74+1% LX	9,85	9,87	9,66	9,52	9,74	9,65	9,72
1:4:0,80+5% LX	10,28	11,36	10,04	11,68	10,51	10,97	10,81
1:4:0,92+10% LX	7,05	6,64	7,03	6,98	6,76	7,25	6,95
1:4:1,00+15% LX	5,14	5,10	5,30	5,18	5,39	5,24	5,23

Tabla nº 33.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 - látex. Fuente: el autor.

.- Ninguna de las proporciones supera la resistencia a compresión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%. Ocupando el segundo lugar en cuando a cantidad de látex adicionado.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%. Siendo la que más cantidad de látex aporta. Presenta una fuerte diferencia, siendo la mitad, de la proporción de mayor resistencia.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, continuando el comportamiento similar a una campana de Gauss.

Imagen nº 65.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 – látex. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:5:1,00 REFERENCIA	8,67	8,46	8,71	8,51	8,56	8,88	8,63
1:5:0,86+1% LX	7,02	6,80	6,78	7,07	6,66	7,22	6,93
1:5:0,90+5% LX	8,29	8,21	8,30	7,92	8,32	8,21	8,21
1:5:1,02+10% LX	6,30	6,08	5,95	5,97	6,46	6,42	6,20
1:5:1,11+15% LX	4,24	4,26	4,39	4,26	4,75	5,07	4,50

Tabla nº 34.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 - látex. Fuente: el autor.

.- Ninguna de las proporciones superan la resistencia a compresión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%. Ocupando el segundo lugar en cuando a cantidad de látex. Alcanzando una resistencia a compresión inferior, pero muy similar, a la de referencia.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%. Siendo la que mayor cantidad de látex aporta.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, continuando el comportamiento similar a una campana de Gauss. Se amortigua la diferencia entre las proporciones.

Imagen nº 66.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 – látex. Fuente: el autor.

c.2.- Mortero adicionado con metacaolín: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:3:0,50 NORMALIZADA	29,39	29,26	29,45	30,84	30,62	29,93	29,92
1:3:0,63 REFERENCIA	19,15	19,09	17,98	18,22	18,95	18,83	18,70
1:3:0,65+5% MK	26,99	26,93	27,07	27,45	27,14	28,43	27,34
1:3:0,70+10% MK	28,42	28,22	28,47	28,66	28,31	28,51	28,43
1:3:0,73+15% MK	30,07	30,14	30,19	30,27	30,16	30,12	30,16

Tabla nº 35.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 - metacaolín. Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas superan la adherencia de la muestra de referencia, aunque no la de comparación.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 10%. Ocupando el lugar intermedio en cuando a cantidad de metacaolín aportado.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 5%. Siendo la que aporta una cantidad menor de metacaolín.

.- La mejora es directamente proporcional a la cantidad de metacaolín, produciéndose un comportamiento mejor a mayor cantidad de metacaolín aportado. Existe una diferencia notable entre las dosificaciones con metacaolín y la de referencia.

Imagen nº 67.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 – metacaolín. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:4:0,77REFERENCIA	11,09	11,00	11,17	11,78	11,52	11,27	11,31
1:4:0,85+5% MK	16,78	17,13	16,92	17,00	16,97	16,85	16,94
1:4:0,87+10% MK	21,64	21,85	22,30	22,37	21,99	22,11	22,04
1:4:0,88+15% MK	22,80	23,81	22,56	22,16	22,47	22,73	22,76

Tabla nº 36.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 - metacaolín. Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas superan la resistencia a compresión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 15%. Ocupando el primer lugar en cuando a cantidad de metacaolín aportado.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 5%. Siendo la que aporta una cantidad menor de metacaolín.

.- La mejora es, en este caso también es ascendente con la cantidad de metacaolín.

Imagen nº 68.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 – metacaolín. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:5:1,00 REFERENCIA	8,67	8,46	8,71	8,51	8,56	8,88	8,63
1:5:1,03+5% MK	8,56	9,30	9,09	8,72	8,40	8,22	8,72
1:5:1,05+10% MK	15,02	15,04	14,73	14,76	14,73	14,70	14,83
1:5:1,06+15% MK	11,84	11,63	12,45	12,63	13,07	12,52	12,36

Tabla nº 37.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 - metacaolín. Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas superan la resistencia a compresión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 10%. Ocupando el lugar medio en cuando a cantidad de metacaolín aportado.

.- La proporción al 5% es la que peor funciona.

.- La mejora es en forma de campana de Gauss, con arreglo a las proporciones de metacaolín.

Imagen nº 69.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

c.3.- Mortero adicionado con resina de base acuosa: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:3:0,50 NORMALIZADA	29,39	29,26	29,45	30,84	30,62	29,93	29,92
1:3:0,63 REFERENCIA	19,15	19,09	17,98	18,22	18,95	18,83	18,70
1:3:0,47+33% ME220	16,69	17,41	15,75	16,71	16,69	16,25	16,58
1:3:0,43+50% ME220	15,34	14,99	14,84	15,17	16,23	15,06	15,27

Tabla nº 38.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 - resina. Fuente: el autor.

.- Ninguna de las dos proporciones utilizadas superan la resistencia a compresión del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%. Ocupando el segundo lugar en cuando a cantidad de resina aportada.

.- Consecuentemente la proporción que peor comportamiento tiene es la del 50%. Aunque relativamente próxima a la anterior que, a su vez, es relativamente próxima a la referencia, con diferencias del entorno del 18%.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada.

Imagen nº 70.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 – resina. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:4:0,77REFERENCIA	11,09	11,00	11,17	11,78	11,52	11,27	11,31
1:4:0,58+33% ME220	15,09	14,53	14,52	14,93	14,81	15,14	14,84
1:4:0,53+50% ME220	10,30	9,98	9,99	9,76	10,20	10,03	10,04

Tabla nº 39.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 - resina. Fuente: el autor.

.- Solo una de las proporciones utilizadas superan la adherencia del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%. Ocupando el segundo lugar en cuando a cantidad de resina aportada.

.- Consecuentemente, la proporción que peor comportamiento tiene es la del 50%.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada.

Imagen nº 71.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:5:1,00 REFERENCIA	8,67	8,46	8,71	8,51	8,56	8,88	8,63
1:5:0,69+33% ME220	18,46	19,67	18,91	19,81	18,63	19,64	19,19
1:5:0,62+50% ME220	10,57	10,71	10,53	10,53	11,34	10,44	10,69

Tabla nº 40.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 - resina. Fuente: el autor.

.- Ambas proporciones superan la resistencia a compresión del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%. Ocupando el segundo lugar en cuando a cantidad de resina aportada. Pero mejorando un 222,36% la resistencia de referencia.

.- Consecuentemente, la proporción que peor comportamiento tiene es la del 50%. Mejorando la resistencia de referencia en un 19,27%.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada.

Imagen nº 72.- Gráficos de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 – resina. Fuente: el autor.

c.4.- Resumen compendio de los resultados: a modo de compendio-resumen, se enumeran en el cuadro siguiente las dosificaciones exitosas a efectos de resistencia a compresión.

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:3:0,65+5% MK	26,99	26,93	27,07	27,45	27,14	28,43	27,34
1:3:0,70+10% MK	28,42	28,22	28,47	28,66	28,31	28,51	28,43
1:3:0,73+15% MK	30,07	30,14	30,19	30,27	30,16	30,12	30,16
1:4:0,85+5% MK	16,78	17,13	16,92	17,00	16,97	16,85	16,94
1:4:0,87+10% MK	21,64	21,85	22,30	22,37	21,99	22,11	22,04
1:4:0,88+15% MK	22,80	23,81	22,56	22,16	22,47	22,73	22,76
1:4:0,58+33% ME220	15,09	14,53	14,52	14,93	14,81	15,14	14,84
1:5:1,03+5% MK	8,56	9,30	9,09	8,72	8,40	8,22	8,72
1:5:1,05+10% MK	15,02	15,04	14,73	14,76	14,73	14,70	14,83
1:5:1,06+15% MK	11,84	11,63	12,45	12,63	13,07	12,52	12,36
1:5:0,69+33% ME220	18,46	19,67	18,91	19,81	18,63	19,64	19,19
1:5:0,62+50% ME220	10,57	10,71	10,53	10,53	11,34	10,44	10,69

Tabla nº 41.- Dosificaciones exitosas a efectos de resistencia a compresión. Fuente: el autor.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que el metacaolín mejora la resistencia a compresión de todas las mezclas en las que participa. La resina de base acuosa mejora en los morteros con menos proporción de cemento. El látex es claramente desaconsejable en lo que se refiere al incremento de la resistencia a compresión.

d.- Densidad en estado endurecido: los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la densidad en estado endurecido, son los que se relacionan a continuación.

Las densidades de todos los morteros adicionados son inferiores, tanto al mortero de comparación, como a los morteros de referencia. Además, se observa que las densidades de estos cuatro morteros; comparación más los tres de referencia, es sumamente similar, con diferencias no superiores 1,20%.

Imagen nº 73.- Gráfico de resultados de los ensayos de densidad en estado endurecido. Fuente: el autor.

El nivel de densidad menor, a pesar de ser pequeño, es indicativo de un peor envejecimiento del mortero por causa de la mayor porosidad.

e.- Durabilidad: tal y como se explicó anteriormente, la durabilidad no es mensurable ni extrapolable. Únicamente se puede obtener información de morteros existentes, con la edad deseada y a partir de ahí, deducir el conocimiento necesario.

Evidentemente, no se puede esperar años para cerrar una investigación de este tipo, por lo que se recurre al envejecimiento acelerado de las probetas, en la convicción que da la experiencia, de que semejante tratamiento es asimilable al paso de los años, a la intemperie.

Para los morteros no existe una normativa de ensayos de envejecimiento acelerado, de modo que se utilizan las existentes de materiales pétreos, las citadas UNE-EN 12371:2011 y la UNE-EN 14066:2014. A fin de cuentas, un mortero no deja de ser un material pétreo artificial.

Tras el procedimiento mixto; resistencia a heladicidad y a choque térmico, utilizado con éxito anteriormente, definido anteriormente, se procede a realizar ensayos de resistencia a flexión, resistencia a compresión y absorción.

e.1.- Resistencia a flexión: los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de resistencia a flexión tras el proceso de envejecimiento acelerado son los que se relacionan a continuación.

Lo primero que cabe decir, antes del análisis de los resultados es que, al contrario de lo pretendido, en numerosos casos 17/27 62,96%, el proceso de envejecimiento acelerado, lejos de lograr una menor resistencia a flexión, ha provocado un curado más competente de las probetas, logrando que se incremente la resistencia. Esto se explica por el incremento de la resistencia a flexión ya visto en las probetas sin envejecer, así como la alta densidad que se ha observado en estos morteros, concretamente en los adicionados con metacaolín y resinas de base acuosa. Ha pasado otro tanto y con valores similares con los morteros de comparación y referencia.

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:3:0,50 NORMALIZADA	6,832	6,491	4,987	6,662	-25,14
1:3:0,63 REFERENCIA	5,645	5,770	4,524	5,708	-20,74
1:4:0,77REFERENCIA	5,458	4,332	3,812	4,895	-22,12
1:5:1,00 REFERENCIA	4,095	3,853	2,717	3,974	-31,63

Tabla nº 42.- Resultados de resistencia a flexión. Probetas de referencia envejecidas.
Fuente: el autor.

Imagen nº 74.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas de referencia. Fuente: el autor.

Como se puede ver en el gráfico previo, la pendiente de las rectas entre el valor medio de las probetas sometidas a envejecimiento (media) y el valor de la probeta de control, es sensiblemente parecido.

Este comportamiento (de mejora de resistencia a flexión tras el proceso de envejecimiento acelerado) se repite en 8/9 88,88% de las dosificaciones de metacaolín. En 4/6 66,66% de las dosificaciones con resina de base acuosa. Sin embargo, solo en 5/12 41,66% de las dosificaciones con látex.

e.1.1.- Mortero adicionado con látex: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:3:0,50 NORMALIZADA	6,832	6,491	4,987	6,662	-25,14
1:3:0,63 REFERENCIA	5,645	5,770	4,524	5,708	-20,74
1:3:0,65+1% LX	4,619	4,757	3,722	4,688	-20,61
1:3:0,65+5% LX	7,139	6,663	7,142	6,901	3,49
1:3:0,85+10% LX	5,289	5,333	4,945	5,311	-6,89
1:3:0,95+15% LX	4,349	3,970	4,809	4,160	15,61

Tabla nº 43.- Resultados del ensayo de resistencia de flexión (DUR). Probetas 1:3 - látex.
Fuente: el autor.

.- El uso de la arena comercial rebaja la resistencia a flexión de la masa 1:3:0,5 Normalizada - $\bar{x} = 6,662$ MPa > 1:3:0,63 Referencia - $\bar{x} = 5,708$ MPa.

.- Una de las dosificaciones, concretamente la del 5%, supera no solo al mortero de referencia, sino también al de comparación. Coincide en ser uno de los dos morteros con los que el ensayo de envejecimiento ha sido correcto.

.- El resto de las dosificaciones de látex que por debajo del mortero de referencia.

.- La proporción que peor funciona es la del 15%

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, produciéndose un comportamiento similar a una campana de Gauss.

Imagen nº 75.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:3 - látex. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:4:0,77REFERENCIA	5,458	4,332	3,812	4,895	-22,12
1:4:0,74+1% LX	4,395	4,490	3,842	4,443	-13,52
1:4:0,80+5% LX	5,747	5,979	5,634	5,863	-3,91
1:4:0,92+10% LX	4,492	4,173	4,565	4,333	5,37
1:4:1,00+15% LX	2,973	3,587	3,852	3,280	17,44

Tabla nº 44.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 - látex.
Fuente: el autor.

.- De nuevo, solo la proporción del 5% supera la resistencia a flexión del mortero de referencia.

.- De nuevo también, la proporción que peor funciona es la del 15%

.- Dos de los morteros, los de mayor cantidad de látex, han tenido el comportamiento habitual tras el ensayo de envejecimiento acelerado.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, continuando el comportamiento similar a una campana de Gauss. Se acentúa la diferencia entre las proporciones que mejoran y las que no.

Imagen nº 76.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 - látex. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:5:1,00 REFERENCIA	4,095	3,853	2,717	3,974	-31,63
1:5:0,86+1% LX	3,381	2,263	2,552	2,822	-9,57
1:5:0,90+5% LX	4,338	4,479	4,697	4,409	6,54
1:5:1,02+10% LX	3,607	3,745	3,894	3,676	5,93
1:5:1,11+15% LX	2,218	2,724	4,692	2,471	89,88

Tabla nº 45.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 - látex.
Fuente: el autor.

.- Solo una de las proporciones supera la resistencia a flexión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, continuando el comportamiento similar a una campana de Gauss.

Imagen nº 77.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 – látex. Fuente: el autor.

e.1.2.- Mortero adicionado con metacaolín: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:3:0,50 NORMALIZADA	6,832	6,491	4,987	6,662	-25,14
1:3:0,63 REFERENCIA	5,645	5,770	4,524	5,708	-20,74
1:3:0,65+5% MK	8,802	8,935	6,357	8,869	-28,32
1:3:0,70+10% MK	9,660	8,055	6,044	8,858	-31,76
1:3:0,73+15% MK	6,156	7,525	5,774	6,841	-15,59

Tabla nº 46.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:3 - metacaolín. Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas superan la resistencia a flexión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%.

.- La mejora está en relación inversa a la cantidad de metacaolín. Existe una diferencia notable entre las dosificaciones con metacaolín y la de referencia, exceptuando la del 15% que es relativamente próxima.

Imagen nº 78.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:3 – metacaolín. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:4:0,77REFERENCIA	5,458	4,332	3,812	4,895	-22,12
1:4:0,85+5% MK	6,190	6,205	4,460	6,198	-28,04
1:4:0,87+10% MK	6,663	6,228	6,469	6,446	0,36
1:4:0,88+15% MK	6,617	7,281	5,277	6,949	-24,06

Tabla nº 47.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 - metacaolín. Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas superan la resistencia a flexión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 15%.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 5%.

.- La mejora es, en este caso, ascendente con la cantidad de metacaolín. La tendencia no se conserva para las probetas de control, en las que el mortero que mejor se comporta es el del 10%.

Imagen nº 79.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 – metacaolín. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:5:1,00 REFERENCIA	4,095	3,853	2,717	3,974	-31,63
1:5:1,03+5% MK	5,714	5,453	3,907	5,584	-30,03
1:5:1,05+10% MK	5,492	4,065	4,117	4,779	-13,84
1:5:1,06+15% MK	5,841	5,907	5,238	5,874	-10,83

Tabla nº 48.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 - metacaolín. Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas, superan la resistencia a flexión de la muestra de referencia.

.- Las tendencias de las probetas de ensayo y las de control son diferentes, siendo en ambos casos la que mejor se comporta la del 15%. La tendencia de las probetas de control es ascendente en relación a la cantidad de metacaolín, mientras que, en las probetas sometidas a ensayo, se produce un valle en la proporción central.

Imagen nº 80.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

e.1.3.- Mortero adicionado con resina de base acuosa: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:3:0,50 NORMALIZADA	6,832	6,491	4,987	6,662	-25,14
1:3:0,63 REFERENCIA	5,645	5,770	4,524	5,708	-20,74
1:3:0,47+33% ME220	7,348	8,268	7,813	7,808	0,06
1:3:0,43+50% ME220	8,534	6,916	7,084	7,725	-8,30

Tabla nº 49.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 - resina. Fuente: el autor.

.- Las dos proporciones utilizadas superan tanto la resistencia a flexión del mortero de referencia, como al de comparación.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%, tanto para las probetas de control como para las ensayadas.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada. Existe una diferencia notable, entre las dosificaciones con resina y la de referencia.

Imagen nº 81.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:3 – resina. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:4:0,77REFERENCIA	5,458	4,332	3,812	4,895	-22,12
1:4:0,58+33% ME220	6,699	5,844	6,006	6,272	-4,23
1:4:0,53+50% ME220	4,803	4,897	5,200	4,850	7,22

Tabla nº 50.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 - resina. Fuente: el autor.

.- Las dos proporciones utilizadas superan la resistencia a flexión del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%. Manteniéndose este comportamiento tanto en las probetas de control, como en las sometidas al ensayo.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada. Sin embargo, el comportamiento en cuanto al ensayo de envejecimiento acelerado es diferente.

Imagen nº 82.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:5:1,00 REFERENCIA	4,095	3,853	2,717	3,974	-31,63
1:5:0,69+33% ME220	4,331	4,509	4,330	4,420	-2,04
1:5:0,62+50% ME220	4,964	4,797	4,681	4,881	-4,09

Tabla nº 51.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 - resina. Fuente: el autor.

.- Las dos proporciones utilizadas superan la resistencia a flexión del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 50%, manteniéndose este comportamiento, tanto en las probetas de control como en las sometidas al ensayo.

.- La mejora esta en relación directa a la cantidad de resina aportada.

Imagen nº 83.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 – resina. Fuente: el autor.

e.1.4.- Resumen compendio de los resultados: a modo de compendio-resumen, se enumeran en el cuadro siguiente las dosificaciones exitosas a efectos de los objetivos de este trabajo.

DOSIFICACIÓN	P1	P2	PC	MEDIA	% ENV.
1:3:0,65+5% LX	7,139	6,663	7,142	6,901	3,49
1:3:0,65+5% MK	8,802	8,935	6,357	8,869	-28,32
1:3:0,70+10% MK	9,660	8,055	6,044	8,858	-31,76
1:3:0,73+15% MK	6,156	7,525	5,774	6,841	-15,59
1:3:0,47+33% ME220	7,348	8,268	7,813	7,808	0,06
1:3:0,43+50% ME220	8,534	6,916	7,084	7,725	-8,30
1:4:0,80+5% LX	5,747	5,979	5,634	5,863	-3,91
1:4:0,85+5% MK	6,190	6,205	4,460	6,198	-28,04
1:4:0,87+10% MK	6,663	6,228	6,469	6,446	0,36
1:4:0,88+15% MK	6,617	7,281	5,277	6,949	-24,06
1:4:0,58+33% ME220	6,699	5,844	6,006	6,272	-4,23
1:5:0,90+5% LX	4,338	4,479	4,697	4,409	6,54
1:5:1,03+5% MK	5,714	5,453	3,907	5,584	-30,03
1:5:1,05+10% MK	5,492	4,065	4,117	4,779	-13,84
1:5:1,06+15% MK	5,841	5,907	5,238	5,874	-10,83
1:5:0,69+33% ME220	4,331	4,509	4,330	4,420	-2,04
1:5:0,62+50% ME220	4,964	4,797	4,681	4,881	-4,09

Tabla nº 52.- Dosificaciones exitosas a efectos de resistencia a flexión (DUR). Fuente: el autor.

.- Los resultados obtenidos permiten afirmar que el látex al 5% mantiene un comportamiento por encima del mortero de referencia, mientras que el resto de las proporciones no funcionan igual. Se puede decir que el látex al 5% funciona a lo largo del tiempo, incluso teniendo en cuenta que tanto en las proporciones 1:3 y 1:5 las probetas ensayadas se encuentran por debajo de las de control, con un 3,49% y un 6,54% respectivamente.

.- El metacaolín funciona al 100%, con todas las relaciones y todas las proporciones. Destaca que en 8/9 de los casos las probetas ensayadas presentan una competencia mayor que la probeta de control y la que no lo hace, es por un 0,36%, lo que, en la práctica, iguala al mortero de control.

.- La resina de base acuosa funciona en 5/6 casos. De los cinco, en cuatro la probeta ensayada se comporta mejor que la de control y en la que no lo hace es por un 0,06%, lo que, en la práctica, iguala al mortero de control.

.- Es posible afirmar que las adiciones elegidas, aunque en el caso del látex, en determinadas proporciones, mejoran las capacidades de los morteros estudiados, dotándoles de una durabilidad mayor.

e.2.- Resistencia a compresión: los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la resistencia a compresión, tras envejecimiento acelerado son los que se relacionan a continuación.

Al igual que sucedió en el ensayo de flexión, en numerosos casos 18/27 66,66%, el proceso de envejecimiento acelerado, ha provocado un curado más competente de las probetas, logrando que se incremente la resistencia.

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:3:0,50 NORMALIZADA	35,21	32,09	0,00	34,18	27,99	27,46	33,83	27,73	-18,04
1:3:0,63 REFERENCIA	24,80	24,33	25,85	25,95	20,52	21,27	25,23	20,90	-17,19
1:4:0,77REFERENCIA	22,67	22,79	22,38	22,76	15,49	16,07	22,65	15,78	-30,33
1:5:1,00 REFERENCIA	13,14	12,73	12,76	13,90	8,97	8,05	13,13	8,51	-35,20

Tabla nº 53.- Resultados de resistencia a compresión (DUR). Probetas de referencia.

Fuente: el autor.

Imagen nº 84.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR).
Probetas de referencia. Fuente: el autor.

Como se puede ver en el gráfico previo, la pendiente de las rectas entre el valor medio de las probetas sometidas a envejecimiento (media) y el valor de la probeta de control, es relativamente parecido.

Este comportamiento, de mejora de resistencia a flexión tras el proceso de envejecimiento acelerado, se repite en compresión, en 6/6 100,00% de las dosificaciones con resina de base acuosa, en 8/9 88,88% de las dosificaciones de metacaolín. Sin embargo, solo en 4/12 33,33% de las dosificaciones con látex.

e.2.1.- Mortero adicionado con látex: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:3:0,50 NORMALIZADA	35,21	32,09	0,00	34,18	27,99	27,46	33,83	27,73	-18,04
1:3:0,63 REFERENCIA	24,80	24,33	25,85	25,95	20,52	21,27	25,23	20,90	-17,19
1:3:0,65+1% LX	20,27	19,91	21,31	21,39	16,89	17,51	20,72	17,20	-16,99
1:3:0,65+5% LX	31,33	30,78	29,85	29,96	32,41	33,60	30,48	33,01	8,28
1:3:0,85+10% LX	18,52	18,42	18,14	18,20	19,61	20,16	18,32	19,89	8,54
1:3:0,95+15% LX	15,03	14,35	14,95	15,10	17,09	17,42	14,86	17,26	16,14

Tabla nº 54.- Resultados del ensayo de resistencia de compresión (DUR). Probetas 1:3 - látex. Fuente: el autor.

.- El uso de la arena comercial rebaja la resistencia a flexión de la masa 1:3:0,5 Normalizada - $\bar{x} = 27,73 \text{ MPa} > 1:3:0,63 \text{ Referencia} - \bar{x} = 20,90 \text{ MPa}$.

.- Una de las dosificaciones, concretamente la del 5%, supera no solo al mortero de referencia, sino también al de comparación. Coincide en ser uno

de los dos morteros con los que el ensayo de envejecimiento ha resultado efectivo.

.- El resto de las dosificaciones de látex están por debajo del mortero de referencia.

.- La proporción que peor funciona es la del 15%

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, produciéndose un comportamiento similar a una campana de Gauss.

Imagen nº 85.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:3 – látex. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:4:0.77REFERENCIA	22,67	22,79	22,38	22,76	15,49	16,07	22,65	15,78	-30,33
1:4:0.74+1% LX	16,22	16,82	14,55	14,82	10,43	10,77	15,60	10,60	-32,06
1:4:0.80+5% LX	21,68	21,74	20,49	20,64	22,77	21,75	21,14	22,26	5,31
1:4:0.92+10% LX	15,74	15,46	14,38	15,00	15,58	16,53	15,15	16,06	6,01
1:4:1.00+15% LX	8,93	9,35	10,33	10,52	13,12	13,78	9,78	13,45	37,49

Tabla nº 55.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:4 - látex. Fuente: el autor.

.- Ninguna de las proporciones supera la resistencia a compresión del mortero de referencia. Aunque la proporción de látex al 5% se muestra como la más competente y sumamente cerca del mortero de referencia.

.- De nuevo también, la proporción que peor funciona es la del 15%.

.- Tres de las cuatro proporciones, los de mayor cantidad de látex, han tenido el comportamiento normal tras el ensayo de envejecimiento acelerado.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, continuando el comportamiento similar a una campana de Gauss.

Imagen nº 86.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR).
Probetas 1:4 – látex. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:5:1,00 REFERENCIA	13,14	12,73	12,76	13,90	8,97	8,05	13,13	8,51	-35,20
1:5:0,86+1% LX	10,23	9,99	9,25	9,33	6,20	6,23	9,70	6,22	-35,93
1:5:0,90+5% LX	16,43	16,38	16,36	16,23	16,16	15,56	16,35	15,86	-3,00
1:5:1,02+10% LX	13,61	14,63	14,36	14,98	13,45	15,81	14,40	14,63	1,63
1:5:1,11+15% LX	5,90	4,34	5,80	7,03	11,96	12,00	5,77	11,98	107,72

Tabla nº 56.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:5 -
látex. Fuente: el autor.

.- Dos de las proporciones superan la resistencia a flexión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, continuando el comportamiento similar a una campana de Gauss.

Imagen nº 87.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR).
Probetas 1:5 – látex. Fuente: el autor.

e.2.2.- Mortero adicionado con metacaolín: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:3:0,50 NORMALIZADA	35,21	32,09	0,00	34,18	27,99	27,46	33,83	27,73	-18,04
1:3:0,63 REFERENCIA	24,80	24,33	25,85	25,95	20,52	21,27	25,23	20,90	-17,19
1:3:0,65+5% MK	36,58	37,17	44,28	48,20	39,24	37,60	41,56	38,42	-7,55
1:3:0,70+10% MK	40,16	40,80	39,93	43,46	37,30	35,74	41,09	36,52	-11,12
1:3:0,73+15% MK	44,36	44,83	40,02	44,37	42,45	35,69	43,40	39,07	-9,97

Tabla nº 57.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:3 - metacaolín. Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas superan la resistencia a flexión de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 15%, estando las tres muy próximas, con un 5,6% de variación entre extremos.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 10%.

.- La mejora está en relación a la inversa de una campana de Gauss. Existe una diferencia notable entre las dosificaciones con metacaolín y la de referencia.

Imagen nº 88.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:3 – metacaolín. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:4:0.77REFERENCIA	22,67	22,79	22,38	22,76	15,49	16,07	22,65	15,78	-30,33
1:4:0.85+5% MK	31,06	30,30	31,34	29,59	22,94	22,34	30,57	22,64	-25,95
1:4:0.87+10% MK	31,47	32,58	30,07	30,72	29,81	30,12	31,21	29,97	-3,99
1:4:0.88+15% MK	33,64	33,99	29,52	34,04	32,65	35,24	32,80	33,95	3,50

Tabla nº 58.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:4 - metacaolín. Fuente: el autor.

- .- Las tres proporciones utilizadas superan la resistencia a compresión de la muestra de referencia.
- .- La proporción que mejor se comporta es la del 15%.
- .- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 5%.
- .- La mejora es, en este caso, ascendente con la cantidad de metacaolín. La tendencia se conserva para las probetas de control.

Imagen nº 89.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR).
Probetas 1:4 – metacaolín. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:5:1,00 REFERENCIA	13,14	12,73	12,76	13,90	8,97	8,05	13,13	8,51	-35,20
1:5:1,03+5% MK	17,96	17,64	17,46	16,61	10,79	11,51	17,42	11,15	-35,98
1:5:1,05+10% MK	21,60	23,82	21,61	21,73	19,48	20,18	22,19	19,83	-10,64
1:5:1,06+15% MK	30,86	30,74	30,50	30,70	27,40	27,44	30,70	27,42	-10,68

Tabla nº 59.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:5 - metacaolín. Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas, superan la resistencia a flexión de la muestra de referencia.

.- Las tendencias de las probetas de ensayo y las de control son iguales, siendo en ambos casos la que mejor se comporta la del 15%.

Imagen nº 90.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR).
Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

e.2.3.- Mortero adicionado con resina de base acuosa: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:3:0,50 NORMALIZADA	35,21	32,09	0,00	34,18	27,99	27,46	33,83	27,73	-18,04
1:3:0,63 REFERENCIA	24,80	24,33	25,85	25,95	20,52	21,27	25,23	20,90	-17,19
1:3:0,47+33% ME220	41,40	42,67	42,98	42,70	35,26	36,76	42,44	36,01	-15,15
1:3:0,43+50% ME220	29,36	29,13	30,38	28,40	23,48	23,82	29,32	23,65	-19,33

Tabla nº 60.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:3 - resina. Fuente: el autor.

.- Las dos proporciones superan la resistencia a compresión del mortero de referencia, aunque solo la del 33% supera la de comparación.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%, tanto para las probetas de control como para las ensayadas.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada. Existe una diferencia notable, entre la dosificación al 33% con resina y la de referencia.

Imagen nº 91.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a Compresión (DUR).
Probetas 1:3 – resina. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:4:0.77REFERENCIA	22,67	22,79	22,38	22,76	15,49	16,07	22,65	15,78	-30,33
1:4:0.58+33% ME220	25,05	26,61	22,48	27,11	21,25	22,58	25,31	21,92	-13,42
1:4:0.53+50% ME220	16,56	15,38	16,95	16,73	13,99	13,64	16,41	13,82	-15,79

Tabla nº 61.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:4 -
resina. Fuente: el autor.

.- Solo la proporción al 33% supera la resistencia a compresión del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%. Manteniéndose este comportamiento tanto en las probetas de control, como en las sometidas al ensayo.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada.

Imagen nº 92.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR).
Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:5:1,00 REFERENCIA	13,14	12,73	12,76	13,90	8,97	8,05	13,13	8,51	-35,20
1:5:0,69+33% ME220	15,70	15,11	13,87	14,33	11,67	11,68	14,75	11,68	-20,86
1:5:0,62+50% ME220	17,73	18,01	17,24	16,97	13,25	14,88	17,49	14,07	-19,57

Tabla nº 62.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:5 - resina. Fuente: el autor.

.- Las dos proporciones utilizadas superan la resistencia a compresión del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 50%, manteniéndose este comportamiento, tanto en las probetas de control como en las sometidas al ensayo.

.- La mejora esta en relación directa a la cantidad de resina aportada.

Imagen nº 93.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR).
Probetas 1:5 – resina. Fuente: el autor.

e.2.4.- Resumen compendio de los resultados: a modo de compendio-resumen, se enumeran en el cuadro siguiente las dosificaciones exitosas a efectos de los objetivos de este trabajo.

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	PCa	PCb	MEDIA	MEDIA C	% ENV.
1:3:0,65+5% LX	31,33	30,78	29,85	29,96	32,41	33,60	30,48	33,01	8,28
1:3:0,65+5% MK	36,58	37,17	44,28	48,20	39,24	37,60	41,56	38,42	-7,55
1:3:0,70+10% MK	40,16	40,80	39,93	43,46	37,30	35,74	41,09	36,52	-11,12
1:3:0,73+15% MK	44,36	44,83	40,02	44,37	42,45	35,69	43,40	39,07	-9,97
1:3:0,47+33% ME220	41,40	42,67	42,98	42,70	35,26	36,76	42,44	36,01	-15,15
1:3:0,43+50% ME220	29,36	29,13	30,38	28,40	23,48	23,82	29,32	23,65	-19,33
1:4:0,85+5% MK	31,06	30,30	31,34	29,59	22,94	22,34	30,57	22,64	-25,95
1:4:0,87+10% MK	31,47	32,58	30,07	30,72	29,81	30,12	31,21	29,97	-3,99
1:4:0,88+15% MK	33,64	33,99	29,52	34,04	32,65	35,24	32,80	33,95	3,50
1:4:0,58+33% ME220	25,05	26,61	22,48	27,11	21,25	22,58	25,31	21,92	-13,42
1:5:0,90+5% LX	16,43	16,38	16,36	16,23	16,16	15,56	16,35	15,86	-3,00
1:5:1,02+10% LX	13,61	14,63	14,36	14,98	13,45	15,81	14,40	14,63	1,63
1:5:1,03+5% MK	17,96	17,64	17,46	16,61	10,79	11,51	17,42	11,15	-35,98
1:5:1,05+10% MK	21,60	23,82	21,61	21,73	19,48	20,18	22,19	19,83	-10,64
1:5:1,06+15% MK	30,86	30,74	30,50	30,70	27,40	27,44	30,70	27,42	-10,68
1:5:0,69+33% ME220	15,70	15,11	13,87	14,33	11,67	11,68	14,75	11,68	-20,86
1:5:0,62+50% ME220	17,73	18,01	17,24	16,97	13,25	14,88	17,49	14,07	-19,57

Tabla nº 63.- Dosificaciones exitosas a efectos de resistencia a compresión (DUR).
Fuente: el autor.

.- Los resultados obtenidos permiten afirmar que el látex al 5% mantiene un comportamiento por encima del mortero de referencia, excepto en la relación c/s 1:4. También supera a la referencia el 1:5 10% Lx. El resto de las proporciones no funcionan igual. Se puede decir que estas proporciones de látex funcionan a lo largo del tiempo, incluso teniendo en cuenta que tanto en las proporciones 1:3 5% Lx y 1:5 10% Lx, las probetas ensayadas se encuentran por debajo de las de control.

.- El metacaolín funciona al 100%, con todas las relaciones y todas las proporciones. Destaca que en 8/9 de los casos las probetas ensayadas presentan una competencia mayor que la probeta de control y la que no lo hace, es por un 3,5%.

.- La resina de base acuosa funciona en 5/6 casos. Además, en los cinco la probeta ensayada se comporta mejor que la de control.

.- Es posible afirmar que las adiciones elegidas, aunque en el caso del látex, en determinadas proporciones, mejoran las capacidades de los morteros estudiados, dotándoles de una durabilidad mayor

f.- Absorción: los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la absorción son los que se relacionan a continuación.

DOSIFICACIÓN	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	MEDIA
1:3:0,50 NORMALIZADA	0,51	0,53	0,55	0,54	0,54	0,55	0,54
1:3:0,63 REFERENCIA	0,91	0,83	0,93	0,85	0,89	0,88	0,88
1:3:0,65+1% LX	0,61	1,01	0,63	0,63	0,63	0,62	0,69
1:3:0,65+5% LX	0,11	0,12	0,11	0,10	0,05	0,09	0,10
1:3:0,85+10% LX	0,15	0,18	0,14	0,09	0,14	0,20	0,15
1:3:0,95+15% LX	0,28	0,24	0,35	0,26	0,24	0,25	0,27
1:3:0,65+5% MK	0,37	0,36	0,35	0,37	0,33	0,33	0,35
1:3:0,70+10% MK	0,33	0,27	0,32	0,33	0,41	0,33	0,33
1:3:0,73+15% MK	0,26	0,29	0,28	0,29	0,27	0,27	0,28
1:3:0,47+33% ME220	0,34	0,33	0,36	0,33	0,35	0,35	0,34
1:3:0,43+50% ME220	0,33	0,33	0,29	0,32	0,33	0,32	0,32
1:4:0,77REFERENCIA	0,89	0,86	0,85	0,81	0,81	0,82	0,84
1:4:0,74+1% LX	0,58	0,56	0,55	0,52	0,59	0,58	0,56
1:4:0,80+5% LX	0,11	0,20	0,11	0,11	0,14	0,10	0,13
1:4:0,92+10% LX	0,13	0,14	0,15	0,13	0,18	0,10	0,14
1:4:1,00+15% LX	0,20	0,19	0,23	0,19	0,26	0,25	0,22
1:4:0,85+5% MK	0,71	0,74	0,70	0,73	0,71	0,68	0,71
1:4:0,87+10% MK	0,59	0,60	0,61	0,56	0,60	0,59	0,59
1:4:0,88+15% MK	0,58	0,62	0,58	0,60	0,56	0,59	0,59
1:4:0,58+33% ME220	0,43	0,44	0,42	0,43	0,42	0,43	0,43
1:4:0,53+50% ME220	0,48	0,49	0,50	0,51	0,49	0,49	0,49
1:5:1,00 REFERENCIA	1,22	1,27	1,18	1,24	1,15	1,26	1,22
1:5:0,86+1% LX	0,67	0,63	0,60	0,57	0,62	0,62	0,62
1:5:0,90+5% LX	0,28	0,26	0,25	0,23	0,18	0,21	0,24
1:5:1,02+10% LX	0,50	0,49	0,36	0,34	0,20	0,16	0,34
1:5:1,11+15% LX	0,23	0,25	0,26	0,23	0,23	0,20	0,23
1:5:1,03+5% MK	1,17	1,10	1,12	1,12	1,09	1,10	1,12
1:5:1,05+10% MK	0,82	0,86	0,81	0,86	0,89	0,85	0,85
1:5:1,06+15% MK	0,84	0,82	0,85	0,84	0,89	0,92	0,86
1:5:0,69+33% ME220	0,59	0,57	0,61	0,63	0,58	0,60	0,60
1:5:0,62+50% ME220	0,58	0,59	0,57	0,58	0,52	0,58	0,57

Tabla nº 64.- Resultados de los ensayos de absorción de cada dosificación. Fuente: el autor.

Imagen nº 94.- Gráfico de resultados de los ensayos de absorción de cada dosificación.
Fuente: el autor.

Sobre los resultados obtenidos se pueden hacer las siguientes observaciones:

.- En general, la absorción es mayor cuanto mayor es la relación cemento/arena.

.- Los tres morteros de referencia son los que presentan una mayor absorción con la única excepción del 1:5 5% Mk. El amasado con la arena comercial incrementa sustancialmente la absorción.

Imagen nº 76.- Gráfico de resultados de los ensayos de absorción para los morteros de referencia. Fuente: el autor.

.- Todos los morteros con relación cemento/arena 1:3, independientemente de la adición utilizada mejoran, no solo al mortero de referencia (0,88), sino también al de comparación (0,54), a excepción del látex 1% que alcanza el 0,69. El entorno de los valores, descontado el anterior se mantiene entre 0,10 y 0,35.

.- Todos los morteros con relación cemento/arena 1:4, independientemente de la adición utilizada mejoran al mortero de referencia (0,84). El entorno de los valores, descontado el anterior se mantiene entre 0,13 y 0,71.

.- Todos los morteros con relación cemento/arena 1:5, independientemente de la adición utilizada mejoran al mortero de referencia (1,22). El entorno de los valores, descontado el anterior se mantiene entre 0,24 y 1,12, aunque obviando este valor, el siguiente baja hasta 0,86.

.- Los morteros con menor absorción son los adicionados con látex. Para las distintas relaciones cemento/arena, el porcentaje de adición con menor absorción es la del 5%. Aunque en la proporción 1:5 la del 15% está a la misma altura.

Imagen nº 95.- Gráfico de resultados de los ensayos de absorción para los morteros adicionados con látex. Fuente: el autor.

Los morteros adicionados con metacaolín tienen también mejor comportamiento en cuanto a la absorción que los de referencia, pero la mejora en este aspecto es la menor de las tres adiciones.

Imagen nº 96.- Gráfico de resultados de los ensayos de absorción para los morteros adicionados con metacaolín. Fuente: el autor.

Los morteros adicionados con resinas de base acuosa tienen también mejor comportamiento que los morteros de referencia, aunque no mejora al látex, pero si aventaja al metacaolín.

Imagen nº 97.- Gráfico de resultados de los ensayos de absorción para los morteros adicionados con resina de base acuosa. Fuente: el autor.

f.1.- Resumen compendio de los resultados: a modo de compendio-resumen, se enumeran las afirmaciones posibles tras la expresión de los resultados.

La utilización de las adiciones seleccionadas para este trabajo reduce en todos los casos la absorción de los morteros en comparación a los de referencia. En los casos más favorables llegando a una reducción del 88,64%.

El látex es el que mayor reducción de la absorción logra, seguido de la resina de base acuosa y finalmente del metacaolín

g.- Adherencia: los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la adherencia son los que se relacionan a continuación.

Se aprecia un buen comportamiento del metacaolín, donde la ratio de las dosificaciones que mejoran a la de referencia es de 5/9 (55,55 %) y superando tres de ellas los mil newtons, que en el caso de la dosificación 1:3 5% MK, supone triplicar el valor obtenido por la dosificación de referencia y en el de la dosificación 1:4 15% MK, supone llegar hasta los 1795,00 Nw.

El siguiente producto en mejor comportamiento es el látex, en el que la ratio es de 7/12 (58,33 %), aunque los valores obtenidos no son tan elevados. Tres de ellos superan también los mil newtons, aunque no ampliamente.

El último producto, la resina comercial de base acuosa, tiene una ratio de 2/6 (33,33 %) y un techo de resistencia de 890 newtons.

El metacaolín presenta el mejor comportamiento medio para las tres proporciones cemento/arena utilizadas. El siguiente es el látex, que tiene un comportamiento general ligeramente superior al del mortero de referencia. Mientras que la resina comercial de base acuosa tiene un comportamiento de bajo perfil, colaborando en el a mejora de la adherencia únicamente para las dosificaciones 1:3. Cabe hacer la precisión de que ese es el mortero de referencia con valor más bajo, a pesar de ser el de mejores valores resistentes, en general, debido a la riqueza de cemento.

El mortero de referencia de proporción 1:4 es el que presenta un mejor comportamiento, alcanzando los 910 newtons. Como demostración de este excelente comportamiento cabe decir que tres de las cinco probetas, al producirse la extracción arrancan parte de la pieza cerámica. Normativamente esta circunstancia se califica como A+C, expresando con un porcentaje la superficie arrancada (ver cuadro de resultados).

Fotografía n° 98.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:4 Ref. Fuente: el autor.

g.1.- Mortero adicionado con látex: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

1:3:0,50 NORMALIZADA	1.100,00	1.000,00	1.150,00	1.150,00	1.200,00	1.120,00	0,570
1:3:0,63 REFERENCIA	400,00	500,00	450,00	500,00	400,00	450,00	0,229
1:3:0,65+1% LX	1.200,00	600,00	300,00	450,00	450,00	600,00	0,306
1:3:0,65+5% LX	950,00	1.500,00	1.050,00	875,00	900,00	1.055,00	0,537
1:3:0,85+10% LX	800,00	800,00	850,00	850,00	700,00	800,00	0,407
1:3:0,95+15% LX	200,00	600,00	580,00	950,00	580,00	582,00	0,296

Tabla n° 65.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 – látex. Fuente: el autor.

.- El uso de la arena comercial rebaja la capacidad de adherencia de la masa 1:3:0,5 Normalizada - $\bar{x} = 0,570$ MPa > 1:3:0,63 Referencia - $\bar{x} = 0,229$ MPa.

.- Las cuatro proporciones utilizadas superan la adherencia de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%. Ocupando el segundo lugar en cuando a cantidad de látex. Con un incremento del 134,44 %.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%. Siendo la que más cantidad de látex aporta. Con un incremento del 29,33 %.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, produciéndose un comportamiento similar a una campana de Gauss.

Imagen nº 99.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 – látex.
Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

1:4:0,77REFERENCIA	900,00	800,00	1.100,00	900,00	850,00	910,00
1:4:0,74+1% LX	300,00	300,00	350,00	300,00	250,00	300,00
1:4:0,80+5% LX	1.100,00	1.150,00	1.200,00	1.200,00	1.250,00	1.180,00
1:4:0,92+10% LX	1.150,00	1.200,00	1.150,00	1.200,00	1.400,00	1.220,00
1:4:1,00+15% LX	800,00	600,00	800,00	800,00	500,00	700,00

Tabla nº 66.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 – látex. Fuente: el autor.

.- Solo dos de las proporciones superan la capacidad de adherencia de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 10%. Ocupando el tercer lugar en cuando a cantidad de látex. Con un incremento del 34,06 %.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 1%. Siendo la que menos cantidad de látex aporta. Presenta una fuerte diferencia con la siguiente proporción.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, continuando el comportamiento similar a una campana de Gauss. Se acentúa la diferencia entre las proporciones que mejoran y las que no.

Imagen nº 100.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 – látex.
Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

1:5:0,86+1% LX	200,00	200,00	200,00	150,00	250,00	200,00	0,102
1:5:0,90+5% LX	600,00	1.050,00	800,00	650,00	900,00	800,00	0,407
1:5:1,02+10% LX	650,00	350,00	1.000,00	950,00	800,00	750,00	0,382
1:5:1,11+15% LX	900,00	350,00	850,00	500,00	600,00	640,00	0,326

Tabla nº 67.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 - látex. Fuente: el autor.

.- Solo una de las proporciones superan la capacidad de adherencia de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%. Ocupando el segundo lugar en cuando a cantidad de látex. Con un incremento del 5,26 %.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 1%. Siendo la que menos cantidad de látex aporta. Se mantiene la fuerte diferencia con la siguiente proporción.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de látex, continuando el comportamiento similar a una campana de Gauss. Se amortigua la diferencia entre las proporciones.

Imagen nº 101.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 - látex.
Fuente: el autor.

g.2.- Mortero adicionado con metacaolín: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

1:3:0,50 NORMALIZADA	1.100,00	1.000,00	1.150,00	1.150,00	1.200,00	1.120,00	0,570
1:3:0,63 REFERENCIA	400,00	500,00	450,00	500,00	400,00	450,00	0,229
1:3:0,65+5% MK	1.000,00	1.500,00	1.400,00	1.250,00	1.600,00	1.350,00	0,688
1:3:0,70+10% MK	1.800,00	400,00	1.100,00	550,00	1.050,00	980,00	0,499
1:3:0,73+15% MK	1.100,00	1.150,00	1.100,00	600,00	1.450,00	1.080,00	0,550

Tabla nº 68.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 - metacaolín. Fuente: el autor.

.- Las tres proporciones utilizadas superan la adherencia de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 5%. Ocupando el primer lugar en cuando a cantidad de metacaolín aportado. Con un incremento del 300,00 %.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 10%. Siendo la que aporta una cantidad media de metacaolín. Con un incremento del 117,77 %.

.- La mejora no es directamente proporcional a la cantidad de metacaolín, produciéndose un comportamiento inverso a una campana de Gauss. Existe una diferencia notable entre las dosificaciones con metacaolín y la de referencia.

Imagen nº 102.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 – metacaolín. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

1:4:0,77REFERENCIA	900,00	800,00	1.100,00	900,00	850,00	910,00	0,463
1:4:0,85+5% MK	600,00	600,00	450,00	550,00	450,00	530,00	0,270
1:4:0,87+10% MK	1.050,00	750,00	600,00	600,00	800,00	760,00	0,387
1:4:0,88+15% MK	1.300,00	2.200,00	2.025,00	1.650,00	1.800,00	1.795,00	0,914

Tabla nº 69.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 -metacaolín. Fuente: el autor.

.- Solo una de las tres proporciones utilizadas, la más elevada, supera la adherencia de la muestra de referencia.

.- A pesar de no superar al mortero de referencia, cuyo valor es el más alto de los tres, tal y como se dijo anteriormente, dos de las probetas de esta proporción, arrancan parte de la pieza cerámica en el ensayo.

Fotografía n° 103.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:4 10% metacaolín.
Fuente: el autor.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 15%. Ocupando el tercer lugar en cuando a cantidad de metacaolín aportado. Con un incremento del 97,25 %. Las cinco probetas presentan rotura de la base de la pieza cerámica.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 5%. Siendo la que aporta una cantidad menor de metacaolín.

.- La mejora es, en este caso, ascendente con la cantidad de metacaolín.

Imagen n° 104.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 – metacaolín. Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

1:5:1,00 REFERENCIA	800,00	850,00	700,00	650,00	800,00	760,00	0,387
1:5:1,03+5% MK	600,00	500,00	1.150,00	800,00	600,00	730,00	0,372
1:5:1,05+10% MK	850,00	1.350,00	1.000,00	825,00	925,00	990,00	0,504
1:5:1,06+15% MK	800,00	450,00	675,00	1.000,00	350,00	655,00	0,334

Tabla nº 70.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

.- Solo una de las tres proporciones utilizadas, la media, supera la adherencia de la muestra de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 10%. Ocupando el lugar medio en cuando a cantidad de metacaolín aportado. Con un incremento del 30,26 %. En dos de las probetas se aprecia arrancamiento de la base de la pieza cerámica.

Fotografía nº 105.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:5 10% metacaolín. Fuente: el autor.

.- La proporción al 5% tiene un comportamiento medio. Tres de las probetas rompen la base de la pieza cerámica.

Fotografía n° 106.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:5 5% metacaolín.
Fuente: el autor.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 15%. Siendo la que aporta una cantidad mayor de metacaolín. A pesar de lo cual cuatro de las cinco probetas presentan arrancamiento de soporte de la pieza cerámica.

Fotografía n° 107.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:5 15% metacaolín.
Fuente: el autor.

.- La mejora es en forma de campana de Gauss, con arreglo a las proporciones de metacaolín.

Imagen nº 108.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

g.3.- Mortero adicionado con resina de base acuosa: para la relación cemento/arena 1:3 se han obtenido los siguientes resultados:

1:3:0,50 NORMALIZADA	1.100,00	1.000,00	1.150,00	1.150,00	1.200,00	1.120,00	0,570
1:3:0,63 REFERENCIA	400,00	500,00	450,00	500,00	400,00	450,00	0,229
1:3:0,47+33% ME220	900,00	850,00	1.000,00	850,00	850,00	890,00	0,453
1:3:0,43+50% ME220	800,00	900,00	850,00	800,00	700,00	810,00	0,413

Tabla nº 71.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 - resina. Fuente: el autor.

.- Las dos proporciones utilizadas superan la adherencia del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%. Ocupando el primer lugar en cuando a cantidad de resina aportada. Con un incremento del 97,77 %.

.- La proporción que peor comportamiento tiene es la del 50%. Siendo la que aporta una cantidad menor de resina. Con un incremento del 80,00 %.

.- La mejora no es inversa a la cantidad de resina aportada. Existe una diferencia notable, prácticamente del doble, entre las dosificaciones con resina y la de referencia.

Imagen nº 109.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 – resina.
Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:4 se han obtenido los siguientes resultados:

1:4:0,77REFERENCIA	900,00	800,00	1.100,00	900,00	850,00	910,00	0,463
1:4:0,58+33% ME220	650,00	750,00	700,00	750,00	800,00	730,00	0,372
1:4:0,53+50% ME220	750,00	800,00	600,00	600,00	650,00	680,00	0,346

Tabla nº 72.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

.- Ninguna de las dos proporciones utilizadas superan la adherencia del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%. Ocupando el primer lugar en cuando a cantidad de resina aportada.

.- Consecuentemente, la proporción que peor comportamiento tiene es la del 50%. Siendo la que aporta una cantidad menor de resina. A pesar de lo cual, una de las probetas arranca parte de la base cerámica.

Fotografía nº 110.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:5 50% - resina.
Fuente: el autor.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada.

Imagen nº 111.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 – resina.
Fuente: el autor.

Para la relación cemento/arena 1:5 se han obtenido los siguientes resultados:

1:5:1,00 REFERENCIA	800,00	850,00	700,00	650,00	800,00	760,00	0,387
1:5:0,69+33% ME220	200,00	300,00	350,00	400,00	350,00	320,00	0,163
1:5:0,62+50% ME220	250,00	250,00	250,00	300,00	400,00	290,00	0,148

Tabla nº 73.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 - resina. Fuente: el autor.

.- Ninguna de las dos proporciones utilizadas superan la adherencia del mortero de referencia.

.- La proporción que mejor se comporta es la del 33%. Ocupando el primer lugar en cuando a cantidad de resina aportada.

.- Consecuentemente, la proporción que peor comportamiento tiene es la del 50%. Siendo la que aporta una cantidad menor de resina.

.- La mejora es inversa a la cantidad de resina aportada.

Imagen nº 112.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 – resina. Fuente: el autor.

g.4.- Resumen compendio de los resultados: a modo de compendio-resumen, se enumeran en el cuadro siguiente las dosificaciones exitosas a efectos de los objetivos de este trabajo.

1:3:0,65+1% LX	1.200,00	600,00	300,00	450,00	450,00	600,00	0,306
1:3:0,65+5% LX	950,00	1.500,00	1.050,00	875,00	900,00	1.055,00	0,537
1:3:0,85+10% LX	800,00	800,00	850,00	850,00	700,00	800,00	0,407
1:3:0,95+15% LX	200,00	600,00	580,00	950,00	580,00	582,00	0,296
1:3:0,65+5% MK	1.000,00	1.500,00	1.400,00	1.250,00	1.600,00	1.350,00	0,688
1:3:0,70+10% MK	1.800,00	400,00	1.100,00	550,00	1.050,00	980,00	0,499
1:3:0,73+15% MK	1.100,00	1.150,00	1.100,00	600,00	1.450,00	1.080,00	0,550
1:3:0,47+33% ME220	900,00	850,00	1.000,00	850,00	850,00	890,00	0,453
1:3:0,43+50% ME220	800,00	900,00	850,00	800,00	700,00	810,00	0,413
1:4:0,80+5% LX	1.100,00	1.150,00	1.200,00	1.200,00	1.250,00	1.180,00	0,601
1:4:0,92+10% LX	1.150,00	1.200,00	1.150,00	1.200,00	1.400,00	1.220,00	0,621
1:4:0,88+15% MK	1.300,00	2.200,00	2.025,00	1.650,00	1.800,00	1.795,00	0,914
1:5:0,90+5% LX	600,00	1.050,00	800,00	650,00	900,00	800,00	0,407
1:5:1,05+10% MK	850,00	1.350,00	1.000,00	825,00	925,00	990,00	0,504

Tabla nº 74.- Dosificaciones exitosas a efectos de este trabajo. Fuente: el autor.

Los resultados obtenidos permiten afirmar algo que no habían observado investigadores anteriores, para los que, los morteros más ricos en conglomerante son los que presentan mejor resistencia. En este caso es la relación media de conglomerante y árido, la que tiene mejor comportamiento.

Durante los trabajos de investigación llevados a cabo en este trabajo se ha logrado obtener un total de catorce dosificaciones que logran la tesis planteada inicialmente. De ellas siete son utilizando látex, cinco utilizando

metacaolín y dos utilizando resina de base acuosa. Nueve se encuentran entre las dosificaciones con una relación cemento/arena de 1:3, cuatro en la 1:4 y únicamente una en la 1:5. El metacaolín es el único que obtiene resultados positivos en las tres posibilidades, el látex lo hace en dos; 1:3 y 1:4 y la resina de base acuosa únicamente en la 1:3

h.- Retracción: los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la retracción son los que se relacionan a continuación. Se ha realizado mediciones hasta la fecha, a efectos de esta investigación se tienen en cuenta las realizadas hasta el primer año.

MORTEROS	C3\$ 1	REF 1:3	1:3 Lx 1%	1:3 Lx 5%	1:3 Lx 10%	1:3 Lx 15%	1:3 Mk 5%	1:3 Mk 10%	1:3 Mk 15%	1:3 ME 220 33%	1:3 ME 220 50%
7 d.	0,3282	0,3172	0,3152	0,3736	0,2704	0,3242	0,3810	0,4410	0,3990	0,3852	0,3332
14 d.	0,4284	0,4092	0,4038	0,4552	0,3476	0,4208	0,4624	0,5394	0,4832	0,4720	0,4068
28 d.	0,5212	0,4924	0,4848	0,5332	0,4150	0,5074	0,5390	0,6332	0,5634	0,5570	0,4792
60 d.	0,6080	0,5654	0,5602	0,6084	0,4806	0,5918	0,6112	0,7226	0,6416	0,6394	0,5498
90 d.	0,6914	0,6350	0,6314	0,6806	0,5454	0,6750	0,6802	0,8082	0,7174	0,7198	0,6190
120 d.	0,7732	0,7032	0,7016	0,7508	0,6092	0,7570	0,7472	0,8914	0,7914	0,7990	0,6874
365 d.	0,8540	0,7704	0,7708	0,8200	0,6720	0,8378	0,8132	0,9730	0,8646	0,8770	0,7550
MORTEROS	REF 1:4	1:4 Lx 1%	1:4 Lx 5%	1:4 Lx 10%	1:4 Lx 15%	1:4 Mk 5%	1:4 Mk 10%	1:4 Mk 15%	1:4 ME 220 33%	1:4 ME 220 50%	
7 d.	0,3156	0,4550	0,4704	0,3344	0,2518	0,4080	0,3694	0,4132	0,3178	0,3422	
14 d.	0,4114	0,5544	0,5776	0,4348	0,3222	0,4938	0,4472	0,5026	0,3876	0,4226	
28 d.	0,5050	0,6496	0,6820	0,5304	0,3886	0,5768	0,5226	0,5892	0,4564	0,5020	
60 d.	0,5948	0,7416	0,7844	0,6218	0,4520	0,6572	0,5956	0,6736	0,5242	0,5804	
90 d.	0,6812	0,8314	0,8848	0,7114	0,5136	0,7342	0,6656	0,7546	0,5910	0,6578	
120 d.	0,7664	0,9198	0,9844	0,7996	0,5742	0,8094	0,7340	0,8328	0,6570	0,7342	
365 d.	0,8508	1,0070	1,0832	0,8864	0,6338	0,8838	0,8016	0,9096	0,7222	0,8098	
MORTEROS	REF 1:5	1:5 Lx 1%	1:5 Lx 5%	1:5 Lx 10%	1:5 Lx 15%	1:5 Mk 5%	1:5 Mk 10%	1:5 Mk 15%	1:5 ME 220 33%	1:5 ME 220 50%	
7 d.	0,4546	0,3652	0,3668	0,4672	0,4110	0,4384	0,3628	0,2704	0,3600	0,2520	
14 d.	0,5566	0,4470	0,4458	0,5712	0,5060	0,5368	0,4406	0,3304	0,4448	0,3244	
28 d.	0,6552	0,5250	0,5200	0,6690	0,5986	0,6340	0,5170	0,3890	0,5288	0,3952	
60 d.	0,7506	0,6014	0,5928	0,7648	0,6874	0,7296	0,5922	0,4456	0,6120	0,4652	
90 d.	0,8434	0,6768	0,6642	0,8592	0,7730	0,8236	0,6656	0,5008	0,6942	0,5344	
120 d.	0,9354	0,7512	0,7342	0,9522	0,8578	0,9164	0,7376	0,5552	0,7754	0,6028	
365 d.	1,0266	0,8248	0,8034	1,0442	0,9418	1,0080	0,8088	0,6088	0,8558	0,6704	

Tabla nº 75.- Resultados de las mediciones de retracción. Fuente: el autor.

Los morteros de referencia presentan un mejor comportamiento que el de comparación, en las proporciones 1:3 y 1:4, siendo esta última mayor y casi igual a la de comparación (arena normalizada), pero no se mantiene en la 1:5, que resulta ser de las mayores.

No es sencillo encontrar un patrón para este apartado, el comportamiento de los distintos morteros. Se aprecia que tanto el látex como el metacaolín presentan valores entre los más altos y los más bajos, mientras que la resina de base acuosa se mantiene, para las tres proporciones, en valores medios.

Imagen nº 113.- Gráfico de resultados del ensayo de retracción. Todas las probetas.
Fuente: el autor.

i.- **Difracción de rayos X:** los resultados obtenidos se resumen en la tabla 76.

DOSIFICACIÓN	COMPUESTOS %										
	ALITA	BELITA	CALCITA	CUARZO	DOLOMITA	FELDESPATO POTÁSICO	MINERALES ARCILLOSOS	PLAGIOCLASA	PORLANDITA	YESO	WOLLASTONITA
LÁTEX 1:4 10% 0,92	2	4	4	32	0	20	6	26	4	2	0
ME220 1:3 33% 0,47	1	3	5	34	0	22	4	14	2	1	14
METAKAOLIN 1:4 15% 0,88	0	8	5	42	1	18	6	19	1	0	0

Tabla nº 76.- Contenido porcentual de las tres muestras. Fuente: el autor.

i.1.- Látex (polímero acrílico)1:4:0,92+10% Lx: el mortero modificado con látex destaca por presentar el mayor contenido en alita, de plagioclasa, de portlandita y de yeso.

i.2.- Resina de base acuosa (copolímero estireno-butadieno)1:3:0,47+33% Me220: el mortero modificado con resina destaca por la menor cantidad de belita, de minerales arcillosos y de plagioclasa, el mayor contenido de feldespato potásico y sobre todo por la gran presencia de wollastonita, mineral del que los otros morteros carecen.

i.3.- Metacaolín: 1:4:0,88+15% Mk: el mortero modificado con metacaolín se caracteriza por la ausencia de alita, de yeso y de wollastonita, el alto contenido de belita y cuarzo y por la presencia de dolomita, mineral del que los otros morteros carecen.

j.- Microscopía electrónica de barrido: las muestras sometidas a este ensayo son las mismas que en de DRX.

j.1.- Látex (polímero acrílico)1:4:0,92+10% Lx: se observa en las muestras porosidad elevada cerrada (ver imagen nº 34). Esto concuerda con las menores resistencias de los morteros modificados con este producto y con los coeficientes de absorción menores en media al metacaolín.

La textura es muy cerrada, con una buena unión entre conglomerante y árido.

Fase filamentosa muy abundante, descartándose que sea etringita mediante análisis espectrográfico, en el que no aparece sulfato de ningún tipo. Esto indica que el látex utilizado retrasa el proceso de hidratación, quedándose algunas fases cristalinas en sus primeros estadios.

Se observa una distribución de compuestos homogéneos no pesados.

Se detecta la presencia de áridos de cuarzo, feldespato (plagioclasa), feldespato potásico y arcilla.

Como fases del cemento se detectan alita, belita y portlandita. Se aprecia la existencia de yeso. La presencia de alita y belita, apoya la teoría del retraso en la hidratación de las fases.

Imagen nº 114.- SEM de la muestra de mortero de látex 50x. Fuente: CAI-UCM

Imágenes nº 115.- SEM de la muestra de mortero de látex 2000x. Fuente: CAI-UCM

j.2.- Resina de base acuosa (copolímero estireno-butadieno) 1:3:0,47+33% Me220: se observa en las muestras una porosidad elevada, mayor que en el caso anterior, aunque los poros son igualmente esféricos, no apreciándose capilares (ver imagen 36).

Las fases fibrosas se presentan igualmente aquí, aunque en menor cantidad.

A los áridos anteriormente identificados se debe añadir la mica biotita.

La comatriz formada por cemento y resina está menos cerrada que en el caso de mortero anterior. Concuerta con la menor resistencia de estos morteros. La comatriz está compuesta de sílice, aluminio y calcio.

Imágen nº 116.- SEM de la muestra de mortero de resina de base acuosa 50x. Fuente: CAI-UCM

Imágenes nº 117.- SEM de la muestra de mortero de resina de base acuosa 1000x. Fuente: CAI-UCM

Imágenes nº 118.- SEM de la muestra de mortero de resina de base acuosa 2000x.
Fuente: CAI-UCM

j.3.- Metacaolín 1:4:0,88+15% Mk: Se aprecia una porosidad muy inferior, lo que concuerda con las mejores resistencias medias halladas en este tipo de morteros (ver imagen 43).

Las fases fibrosas son prácticamente inexistentes, por lo que existe una clara relación entre su existencia y el uso de resinas sintéticas.

Aparece belita en la composición.

Imágen nº 118.- SEM de la muestra de mortero de metacaolín50x. Fuente: CAI-UCM

Imágenes nº 119.- SEM de la muestra de mortero de metacaolín 2000x. Fuente: CAI-UCM

5.4.- ESTUDIO DE COSTES

Existe un amplio número de productos disponibles en el mercado, de bajo coste o en su defecto no muy elevado, que representan una oportunidad de mejora de todas o algunas de las características de los morteros y hormigones en uso en la construcción actual.

La fabricación de resinas en la actualidad es una actividad en alza, económica y asequible tecnológicamente. Según datos de FEIQUE (Federación empresarial de la industria química española), el químico es un sector innovador y estratégico para la economía.

Está compuesto de 3.300 empresas y supone el 13,4 % del PIB Industrial español. La cifra de negocio del último ejercicio se eleva a 65.600,00 millones de euros, de los que 37.724,00 se realizan en mercados exteriores, convirtiendo a este sector en el segundo exportador de la economía española.

Por otro lado, el metacaolín es un material silicoaluminoso activado por deshidratación de caolín ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9\text{H}_4$). Para lograr esta deshidratación, se calcina la materia prima entre 650 a 800° C, lo cual es menos de la mitad de la temperatura a la que se fabrica el cemento 1500 a 1600° C, con la consiguiente reducción de coste.

Imagen nº 120.- Gráfico de evolución del precio del cemento – Fuente: INE.

El precio del cemento mantiene una subida constante, desde hace muchos años, con las debidas variaciones coyunturales y el efecto de los periodos de crisis. Por esta razón la búsqueda de materiales que abarate el precio de los morteros y hormigones.

Haciendo uso de los datos de suministro de materiales en la realización de este trabajo, se ha elaborado una comparativa de precios valorando todas las dosificaciones utilizadas.

Imagen nº 121.- Precio en €/m³ de cada una de las dosificaciones utilizadas. Fuente: el autor.

Se comprueba que los precios de los morteros con adición para mejorar sus propiedades no superan los de los morteros de referencia, a excepción de los morteros con proporción 1:4 y porcentajes al 5 y al 10% de metacaolín.

De los morteros que superan los 1000 newtons de resistencia, el orden, de menor a mayor precio es: 1:4 10% Lx – 1:4 5% Lx – 1:4 15% Mk – 1:3 15% Mk – 1:3 5% Lx – 1:3 5% Mk. Son por lo tanto mejores los que utilizan el látex.

Sin embargo, establecida la ratio coste/resistencia a la adherencia, el orden queda como sigue: 1:4 15% Mk (0,053) – 1:4 10% Lx (0,069) – 1:3 5% Mk (0,076) – 1:4 5% Lx (0,080) – 1:3 15% Mk (0,091) – 1:3 5% Lx (0,096). El mayor precio recae, tras esta operación en la dosificación 1:4 15% Mk, sin embargo, es levemente más caro que el precio de referencia (95,37 € > 94,52 €). Por ello, la dosificación que mejor cumple los requisitos de este trabajo a menor coste es el 1:4 10% Lx (84,77 € < 94,52 €), suponiendo una rebaja del 10,32 %.

DOSIFICACIÓN	PESOS				PRECIO Kg	DENSIDAD	PRECIO L	PRECIO M3
ADITIVO	C	S	W	A	€		€	€
CONTROL 1:3 0,50	1,0	3,0	0,50	0,00	0,27	2,13	0,58	579,83
REFERENCIA 1:3 0,63	1,0	3,0	0,63	0,00	0,05	2,15	0,10	104,48
REFERENCIA 1:4 0,77	1,0	4,0	0,77	0,00	0,05	2,02	0,09	94,52
REFERENCIA 1:5 1,00	1,0	5,0	1,00	0,00	0,05	2,10	0,09	94,50
LÁTEX 1:3 1% 0,65	1,0	3,0	0,65	0,01	0,05	2,00	0,10	96,57
LÁTEX 1:3 5% 0,65	1,0	3,0	0,65	0,05	0,05	2,12	0,10	101,49
LÁTEX 1:3 10% 0,85	1,0	3,0	0,85	0,10	0,05	1,95	0,09	88,64
LÁTEX 1:3 15% 0,95	1,0	3,0	0,95	0,15	0,04	1,93	0,09	85,15
LÁTEX 1:4 1% 0,74	1,0	4,0	0,74	0,01	0,05	1,91	0,09	89,69
LÁTEX 1:4 5% 0,80	1,0	4,0	0,80	0,05	0,05	2,04	0,09	94,15
LÁTEX 1:4 10% 0,92	1,0	4,0	0,92	0,10	0,04	1,89	0,08	84,77
LÁTEX 1:4 15% 1,00	1,0	4,0	1,00	0,15	0,04	1,90	0,08	83,41
LÁTEX 1:5 1% 0,86	1,0	5,0	0,86	0,01	0,05	1,92	0,09	88,03
LÁTEX 1:5 5% 0,90	1,0	5,0	0,90	0,05	0,05	1,93	0,09	87,47
LÁTEX 1:5 10% 1,02	1,0	5,0	1,02	0,10	0,04	1,98	0,09	87,60
LÁTEX 1:5 15% 1,11	1,0	5,0	1,11	0,15	0,04	2,03	0,09	88,08
METAKAOLIN 1:3 5% 0,65	1,0	3,0	0,65	0,05	0,05	2,14	0,10	102,45
METAKAOLIN 1:3 10% 0,70	1,0	3,0	0,70	0,10	0,05	2,12	0,10	99,38
METAKAOLIN 1:3 15% 0,73	1,0	3,0	0,73	0,15	0,05	2,12	0,10	97,75
METAKAOLIN 1:4 5% 0,85	1,0	4,0	0,85	0,05	0,05	2,13	0,10	97,47
METAKAOLIN 1:4 10% 0,87	1,0	4,0	0,87	0,10	0,05	2,12	0,10	95,88
METAKAOLIN 1:4 15% 0,88	1,0	4,0	0,88	0,15	0,04	2,13	0,10	95,37
METAKAOLIN 1:5 5% 1,03	1,0	5,0	1,03	0,05	0,04	2,11	0,09	93,88
METAKAOLIN 1:5 10% 1,05	1,0	5,0	1,05	0,10	0,04	2,10	0,09	92,52
METAKAOLIN 1:5 15% 1,06	1,0	5,0	1,06	0,15	0,04	2,10	0,09	91,75
ME220 1:3 33% 0,47	1,0	3,0	0,47	0,33	0,05	2,11	0,10	98,91
ME220 1:3 50% 0,43	1,0	3,0	0,43	0,55	0,05	1,97	0,09	89,01
ME220 1:4 33% 0,58	1,0	4,0	0,58	0,33	0,05	1,96	0,09	89,54
ME220 1:4 50% 0,53	1,0	4,0	0,53	0,55	0,04	1,91	0,08	84,82
ME220 1:5 33% 0,69	1,0	5,0	0,69	0,33	0,04	1,97	0,09	88,40
ME220 1:5 50% 0,62	1,0	5,0	0,62	0,55	0,04	1,91	0,08	83,91

Tabla nº 77.- Precio en €/m³ de cada una de las dosificaciones utilizadas. Fuente: el autor.

A los precios que figuran en la columna de la derecha (€/m³) se les deberá sumar 30,94 € en concepto de mano de obra y 1,13 en concepto de medios auxiliares, para obtener el precio de ejecución material (PEM)

5.2.2.- ANÁLISIS DIFERENCIAL DE RESULTADOS

Se analizan a continuación los resultados de los trabajos estudiados en el apartado de estado de la cuestión, frente a los obtenidos en esta investigación.

a.- Adherencia:

a.1.- “Estudio de la adherencia piedra-mortero” Rodríguez et al (1994)

.- Se confirma la baja adherencia de los morteros de cemento Portland sin adicionar, aunque presentan una media ligeramente superior al valor límite de $0,3 \text{ N/mm}^2$, $\bar{x}=0,36 \text{ N/mm}^2$.

.- Se coincide en que, en términos generales, a mayor cantidad relativa de conglomerante, mejor comportamiento adherente.

.- El uso de polímeros acrílicos (látex) es positivo en relación a la mejora de la adherencia.

.- Al contrario que en el trabajo estudiado, en esta investigación sí se ha encontrado relación entre la adherencia y la absorción. En los morteros adicionados con polímero acrílico (látex) y copolímero de estireno-butadieno.

Imagen nº 122.- Gráfico de correlación de resultados de adherencia y absorción, para morteros adicionados con polímero acrílico. Fuente: el autor.

Imagen nº 123.- Gráfico de correlación de resultados de adherencia y absorción, para morteros adicionados con copolímero de estireno-butadieno. Fuente: el autor.

a.2.- "La adherencia en los morteros de albañilería" Cabrera (1995)

.- También se coincide, como en el anterior trabajo que, en términos generales, a mayor cantidad relativa de conglomerante, mejor comportamiento adherente.

.- Se apreciaron grandes dispersiones de resultados, que en este trabajo también se han constatado. Las dispersiones obtenidas en el ensayo de adherencia se han manifestado igualmente en el presente trabajo.

a.3.- "Adherencia de los morteros de revoco y restauración" Sainz de Cueto et al (1998)

.- Al igual que en trabajo anterior y en este, encontraron dificultades con el ensayo de adherencia.

a.4.- "Alternativas innovadoras para mejorar la adherencia mortero-ladrillo cerámico" Barrera et al (2007)

.- En esta tesis también se han constatado los efectos positivos del polímero acrílico en el aspecto de la adherencia.

a.5.- "Adhesivos de colocación en capa delgada modificados con polímeros" Felixberger (2008)

.- En esta tesis también se han constatado los efectos positivos de los aditivos poliméricos, en el aspecto de la adherencia.

b.- Metacaolín

b.1.- "Alternativas innovadoras para mejorar la adherencia mortero-ladrillo cerámico" Barrera et al (2007)

.- En esta tesis también se han constatado los efectos positivos del polímero acrílico en el aspecto de la adherencia.

6.- CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas tras el análisis de los resultados del trabajo realizado, son:

Objetivo general: “Es posible encontrar en el mercado español productos comercializados en la actualidad, productos económicos, que permitan mejorar la adherencia de los morteros”.

a.- Los productos utilizados en este trabajo mejoran la capacidad de adherencia de los morteros. Aunque, es cierto que no lo hacen en todas las situaciones planteadas, ni en la misma medida.

Objetivos específicos:

Objetivo 1.- Determinar los factores que afectan a la adherencia entre morteros y piezas cerámicas.

1.a.- En términos generales, se comportan mejor aquellos morteros en los que la relación cemento/arena es mayor. En la relación 1:3, el 100% de los morteros modificados superan el valor del mortero de referencia.

1.b.- Se comportan mejor los morteros con menor porosidad, por lo que se demuestra que las buenas prácticas durante la ejecución son muy relevantes.

Objetivo 2.- Seleccionar los productos adecuados como base de los morteros y qué adiciones utilizar para mejorar la adherencia, con el mayor aprovechamiento en el plano práctico.

2.a.- Dados los resultados obtenidos y la asimilación de los morteros estudiados a las condiciones habituales de la práctica de la albañilería (usando materias primas comerciales), se puede afirmar que este trabajo ha permitido obtener morteros funcionales, cuyo estudio aporta conocimiento aplicable en la actividad cotidiana. Estadísticamente, los tres productos arrojan modelos de datos aceptables.

2.b.- Los tres productos elegidos tenían a priori estudios científicos suficientes para como para basar sólidamente el criterio de elección, si bien no abundaban en los aspectos de adherencia, que aquí se han completado.

2.c.- Los tres productos elegidos para modificar los morteros tienen dosificaciones que superan a los morteros de referencia, aunque su comportamiento siga patrones divergentes.

2.d.- El uso de metacaolín supone una mejora media del 34% sobre los morteros de referencia. Es el que mejor se comporta para las tres relaciones cemento/arena utilizadas. Siendo más efectivo en la relación 1:3 en la que se observan excelentes resultados, triplicando en algún caso los valores del mortero de referencia.

2.e.- El uso de resina de base acuosa, funciona únicamente en morteros con una relación cemento/arena 1:3, en la que se obtienen resultados que prácticamente duplican a los del mortero de referencia. En las otras dos relaciones no mejora de la adherencia.

Objetivo 3.- Establecer el número y las dosificaciones más adecuadas para abarcar la casuística suficiente.

3.a.- Dados los modelos de datos obtenidos y la conjunción de relaciones cemento/arena utilizadas, cuya elección fue basada en los usos normativos y prácticos de la albañilería, se puede afirmar que este trabajo se ha planteado sobre una base suficiente para emitir conclusiones, dentro de unos parámetros normales.

Objetivo 4.- Establecer las proporciones de cada uno de los productos elegidos como adiciones.

4.a.- El mortero que mejor comportamiento tiene en cuanto a la adherencia es el modificado con metacaolín, con la proporción del 15% y con una relación cemento/arena de 1:4. El valor alcanzado es de 0,914 N/mm².

4.b.- El látex (polímero acrílico) tiene un buen comportamiento, siendo el mortero con mayor resistencia el modificado con un 10%. De nuevo la relación cemento/arena es 1:4. El valor alcanzado es de 0,621 N/mm².

4.c.- En el látex, de las cuatro proporciones (1%, 5%, 10% y 15%), para las tres relaciones cemento/arena, se mantiene la tendencia de que las proporciones extremas dan valores más bajos que las centrales.

Objetivo 5.- Establecer, si procede, los motivos por los que se cumple la hipótesis.

5.a.- Tanto el látex (polímero acrílico), como la resina de base acuosa (copolímero de estireno-butadieno), mejoran la adherencia debido a que generan una co-matriz con el cemento.

5.b.- El metacaolín ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$), debido a su marcada hidraulicidad, reacciona fuertemente con el hidróxido de calcio, formando fases cristalinas de silicatos cálcicos hidratados y aluminosilicatos cálcicos, en mayor o menor medida, dependiendo de la relación sílice/alúmina del metacaolín utilizado.

5.c.- En este trabajo no se ha detectado la formación de hidrogranates.

Objetivo 6.- Evaluar económicamente la utilización de los productos elegidos.

6.a.- Se logra el objetivo de que los morteros diseñados sean económicos y en numerosos casos, incluso más baratos que los de referencia.

6.b.- El mortero que mejor se comporta relacionando la adherencia con el coste de producción es el 1:4 10% Lx.

7.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Recogidas las correspondientes conclusiones de éste estudio y conocidos los vacíos de conocimiento existentes, se proponen como futuras líneas de investigaciones las siguientes:

- 1.- Búsqueda de otros productos, de uso habitual y de bajo coste, que puedan mejorar la adherencia de los morteros.
- 2.- Desarrollar un método de envejecimiento de materiales que sustituya más fidedignamente, que los actualmente en uso, el proceso del paso del tiempo. Teniendo en cuenta la situación del material, protegido o a intemperie y en diferentes posiciones con respecto a la acción de la gravedad, las condiciones ambientales, agresiones, etc.

8.- INDICIOS DE CALIDAD

Fruto de la investigación realizada se han realizado las siguientes publicaciones, generado la siguiente bibliografía:

a.- Ponencia invitada en el 1º Congreso Internacional de Innovación Tecnológica en Edificación – CITE 2016, celebrado en la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid, durante los días 9, 10 y 11 de marzo de 2016.

García, G., González, M., y del Río, M. (2016). Avances en el uso de metacaolín para la mejora de las propiedades de los morteros de cemento tipo Portland. Congreso Internacional de Innovación Tecnológica en Edificación – CITE (1ª ed. 2016: Madrid) p. 131-132 ISBN: 978-84-16397-28-0

b.- Ponencia en el 2º Congreso Internacional de Innovación Tecnológica en Edificación – CITE 2017, celebrado en la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid, durante los días 8, 9 y 10 de marzo de 2017.

García, G., González, M., y del Río, M. (2017). Uso de resinas modificadas para la mejora de la adherencia de morteros. 2º Congreso Internacional de Innovación Tecnológica en Edificación – CITE (2ª ed. 2017: Madrid).

c.- Artículo en la revista Dyna Ingeniería e Industria. Q4 JCR 2017 (actualmente Q3 JCR 2019).

García, G., González, M., del Río, M. y Magdalena, F. (2017). Morteros adicionados con metacaolín: efecto de la proporción de agregado. Dyna, 92 (2) 155-157. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8194>

9.- REFERENCIAS

9.1.- GLOSARIO

De cara a establecer unas bases comunes se tienen en cuenta las siguientes definiciones:

.- Mortero para albañilería: mezcla compuesta de uno o varios conglomerantes inorgánicos, de áridos, de agua y, a veces, de adiciones y/o aditivos para fábricas de albañilería (fachadas, muros, pilares y tabiques), rejuntado y trabazón de albañilería.

.- Mortero para revoco/enlucido: mezcla compuesta de uno o varios conglomerantes inorgánicos, de áridos, de agua y, a veces, de adiciones y/o aditivos para realizar revocos exteriores o enlucidos interiores.

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

.- Mortero diseñado: mortero cuya composición y sistema de fabricación se han elegido por el fabricante con el fin de obtener las propiedades especificadas.

.- Mortero de receta o prescrito: mortero que se fabrica en unas proporciones predeterminadas y cuyas propiedades dependen de las proporciones de los componentes que se han declarado.

.- Mortero para uso corriente: mortero sin características especiales.

.- Mortero para albañilería para juntas y capas finas: mortero para albañilería diseñado con un tamaño máximo de árido menor o igual al valor que figura especificado.

.- Mortero ligero: mortero diseñado cuya densidad es inferior o igual al valor que figura especificado.

.- Mortero hecho en una fábrica: mortero dosificado y mezclado en una fábrica. Puede ser mortero seco, que es una mezcla preparada que solamente requiere la adición de agua o mortero húmedo, que se suministra listo para su empleo.

.- Mortero semiterminado hecho en una fábrica: mortero que se dosifica completa o parcialmente en una fábrica y que se suministra sin mezclar o mezclado parcialmente, para ser terminado de mezclar y amasar en obra. Existen dos variantes básicas:

.- Mortero predosificado: mortero cuyos componentes se dosifican por completo en una fábrica y se suministran al lugar de su utilización en donde

se mezclan de acuerdo con las especificaciones y condiciones indicadas por el fabricante.

.- Mortero premezclado de cal y arena: mortero cuyos componentes se han dosificado y mezclado por completo en una fábrica y se suministran al lugar de su utilización en donde se añaden otros componentes especificados o suministrados por la fábrica.

.- Mortero hecho en obra: mortero compuesto por los componentes individuales dosificados y mezclados en la obra.

.- Mortero para revoco/enlucido coloreado: mortero para revoco/enlucido diseñado especialmente coloreado.

.- Mortero para revoco monocapa: mortero para revoco diseñado que se aplica en una capa que cumple con las mismas funciones que un sistema multicapa utilizado en exteriores y que usualmente es especialmente coloreado.

.- Mortero para revoco/enlucido para renovación: mortero para revoco/enlucido diseñado que se utilizan en muros de fábrica húmedos que contienen sales solubles en agua. Poseen una porosidad y una permeabilidad al vapor de agua elevadas, así como una reducida absorción de agua por capilaridad.

.- Mortero para revoco/enlucido para aislamiento térmico: mortero diseñado con propiedades específicas de aislamiento térmico.

.- Conglomerante: material utilizado para unir partículas sólidas de tal manera que formen una masa coherente.

.- Árido: material granular que no contribuye a la reacción de endurecimiento del mortero.

.- Aditivo: material añadido en pequeñas cantidades para obtener las modificaciones especificadas de las propiedades.

.- Adición: material inorgánico finamente dividido (que no es árido, ni conglomerante) que se puede añadir al mortero para mejorar o para obtener propiedades especiales.

.- Resistencia de unión: adhesión perpendicular, en el lecho del mortero, entre el mortero y la pieza de fábrica.

.- Valor declarado: valor que un fabricante está seguro de conseguir, teniendo en cuenta la precisión del ensayo y la dispersión de la medida.

.- Fábrica de albañilería expuesta a un ambiente "severo": fábrica de albañilería o elementos de albañilería que están expuestos a una saturación de agua como lluvias batientes o aguas subterráneas, combinada con frecuentes ciclos hielo/deshielo de acuerdo con las condiciones climáticas y que no dispone de dispositivos de protección.

.- Fábrica de albañilería expuesta a un ambiente "moderado": fábrica de albañilería o elementos de albañilería expuestos a la humedad y a ciclos hielo/deshielo, excluyendo las construcciones expuestas a una exposición severa.

.- Fábrica de albañilería expuesta a un ambiente "pasivo": fábrica de albañilería o elementos para albañilería que no están expuestos, por regla general, a la humedad, ni a las condiciones de hielo/deshielo.

.- Sistema revoco/enlucido: secuencia de diferentes capas que se aplican en un soporte que puede estar asociada con el posible uso de un soporte y/o armado y/o a un tratamiento del soporte.

.- Capa revoco/enlucido: capa aplicada en una o más operaciones o pasadas con la misma mezcla, de tal modo que la capa precedente no haya fraguado antes de que se realice la nueva capa.

.- Capa base: capa o capas inferiores de un sistema.

.- Capa final o de terminación: última capa, decorada o no, de un sistema para revoco o para enlucido multicapa.

.- Fraguado: el fraguado es el proceso de endurecimiento que inevitablemente provoca la pérdida de trabajabilidad del mortero. Se produce por distintos motivos dependiendo del conglomerante utilizado. En el caso del cemento la reacción, exotérmica, de recristalización de los hidróxidos metálicos. Para la cal la formación de hidróxido de calcio a partir del óxido de calcio. Finalmente, en el caso del yeso, al hidratarse el sulfato de calcio. En todos los casos, al reaccionar el conglomerante con el agua de amasado. Consecuentemente, el carácter principal de la reacción es la desecación de la masa.

En general, se puede hablar de un estado de fraguado inicial en que la mezcla pierde su plasticidad y de un estado de fraguado final, en el que la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable. El diferencial de tiempo entre estos dos estados es tremendamente variable dependiendo del conglomerante utilizado. Existe también un margen de variación utilizando un mismo conglomerante, dependiendo de las condiciones ambientales, especialmente la temperatura y la humedad relativa.

Para regular los plazos existen aditivos retardantes o acelerantes del fraguado, que permiten ajustar este a los condicionantes de ejecución.

9.2.- BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro Sánchez, F. J. (2002). *Historia, caracterización y restauración de morteros*. (U. de Sevilla, Ed.) (1ª). Sevilla.
- Arredondo, F. (1967). *ESTUDIO DE MATERIALES V-HORMIGONES* (1ª). MADRID: Consejo Superior Investigaciones Científicas.
- Azkárate, I. (AFAM). (2006). *Morteros de revestimiento*. (AFAM, Ed.) (Burillo y). Madrid.
- Barluenga, G., & Hernández-Olivares, F. (2004). SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour. *Cement and Concrete Research*, 34, 527–535. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.09.006>
- Barrera, H., Morales, S., & Quiroz, P. (2007). Alternativas innovadoras para mejorar la adherencia mortero - ladrillo cerámico. In *XVI Jornadas chilenas del hormigón* (pp. 1–19). Talca: Universidad Católica del Maule. Retrieved from www.ico.ucm.cl/jornadas/
- Baueregger, S., Perello, M., & Plank, J. (2014). On the role of colloidal crystal-like domains in the film forming process of a carboxylated styrene-butadiene latex copolymer. *Progress in Organic Coatings*, 77(3), 685–690. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.12.006>
- Bonakdar, A., Bakhshi, M., & Ghalibafian, M. (2005). *Properties of High-Performance Concrete Containing Reactivity Metakaolin* (No. 288). Tehran.
- Bustillo Revuelta, M. (2008). *Hormigones y morteros*. (F. Editores, Ed.) (1ª). Madrid.
- Cabrera, J. L. A.-. (1995). La adherencia en los morteros de albañilería. *Materiales de Construcción*, 45(c). <https://doi.org/10.1007/s10194-007-0396-5>
- Chorpeza, M. G., Durham, S., & Sullivan, M. (2017). *Evaluation of Metakaolin and Slag for GDOT Concrete Specifications and Mass Concrete Provision - Phase I*. Georgia.
- Courard, L., Darimont, A., Schouterden, M., Ferauche, F., Willem, X., & Degeimbre, R. (2003). Durability of mortars modified with metakaolin. *Cement and Concrete Research*, 33, 1473–1479. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00090-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00090-5)
- De Miguel Rodríguez, J. L. (2009). *Estabilidad de fábricas* (No. 480). Madrid.
- Del Río Merino, M., Cárceles Garralón, F., & González Cortina, M. (2002). *Ejecución de revestimientos de yeso* (1º). Madrid: ATEDY.
- Enfedaque Díaz, A., Sánchez Paradela, L., & Sánchez-Gálvez, V. (2010). El efecto del humo de sílice y el metacaolín en el proceso de envejecimiento de los morteros de cemento reforzados con fibras de vidrio (GRC). *Materiales de Construcción*, 60(300), 67–82. <https://doi.org/10.3989/mc.2010.52009>
- Escalante, J. I., Navarro, A., & Gómez, L. Y. (2011). Caracterización de

- morteros de cemento portland substituido por metacaolín de baja pureza. *Revista de La Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de La Construcción*, 1(2), 156–169.
- Felixberger, J. K. (2008). *Adhesivos de colocación en capa delgada modificados con polímeros*. Augsburg.
- Fishburn, C. C. (1961). *Effect of Mortar Properties On Strength of Masonry* (No. Mnograph 36). Washington. Retrieved from <http://dx.doi.org/dx.doi.org › NBS.MONO.36>
- Frías, M., & Sánchez de Rojas, M. I. (2000). Influencia del metacaolín en la estructura porosa de matrices a base de metacaolín / cemento. *Materiales de Construcción*, 50(259), 57–67.
- Frías Rojas, M., Sánchez de Rojas, M. I., Rodríguez, O., García, R., Vigil Montaña, M. R., & Vegas, I. (2006). Viabilidad científica y técnica de reciclar metacaolín activado de residuos de lodos de papel como material puzolanico. *Cemento Hormigón*, (893), 6–15.
- Garg, N., & Wang, K. (2012). Comparing the performance of different commercial clays in fly ash- modified mortars. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 1(3), 111–125. <https://doi.org/10.1080/21650373.2012.745217>
- Geng, H., & Li, Q. (2017). Water Absorption and Hydration Products of Metakaolin Modified Mortar. *Key Engineering Materials*, (726), 505–509.
- González Cortina, M. (2000). *RECUPERACIÓN DE MORTEROS ROMANOS DE CAL Y CHAMOTA EN APLICACIONES ACTUALES*. Universidad Politécnica de Madrid.
- González Yunta, F. (2016). *El estuco a fuego: Técnica tradicional y posibilidades de actualización*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Gutiérrez, R. M. De, Torres, J., & Delvasto, J. S. S. (2006). Influencia de la adición de metacaolín a morteros y hormigones. *Boletín Geológico y Minero*, 117(4), 715–722.
- Harbi, R., Derabla, R., & Nafa, Z. (2017). Improvement of the properties of a mortar with 5 % of kaolin fillers in sand combined with metakaolin, brick waste and glass powder in cement. *Construction and Building Materials*, 152, 632–641. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.062>
- Helene, P., & Siervi Lacerda, C. (2002). *Experimental research for evaluating the performance of metacaulim HP as addition to portland cement concrete*. Sao Paulo.
- Instituto de promoción cerámica. (2017). *Morteros modificados con polímeros*. Castellón de la Plana.
- Izquierdo Gracia, L. carlos. (2012). *Influencia de un aditivo acrílico en las propiedades físicas y mecánicas de un mortero mixto de revestimiento*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Joo, M.-K., & Lho, B.-C. (2015). Evaluation of Properties of Polymer-Modified Mortar with CSA. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 1(30), 35–44. <https://doi.org/10.11112/jksmi.2015.19.1.035>
- Khatib, J. M., & Wild, S. (1996). Pore size distribution of metakaolin paste. *Cement and Concrete Research*, 26(10), 1545–1553. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00147-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0008-8846(96)00147-0)

- Li, L., Wang, R., & Lu, Q. (2018). Influence of polymer latex on the setting time, mechanical properties and durability of calcium sulfoaluminate cement mortar. *Construction and Building Materials*, 169(30), 911–922. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.005>
- Mañanas Álvaro, M. (2014). Estudio de sistemas constructivos de fachada de bloques residenciales en Madrid. Soluciones constructivas y viabilidad económica para rehabilitación. In *II Congreso de Edificios de Energía casi nula*. Madrid: Construable.es. Retrieved from <https://www.construable.es/comunicaciones/estudio-sistemas-constructivos-fachada-bloques-residenciales-madrid-soluciones-constructivas-viabilidad-economica-rehabilitacion>
- Monjo Carrió, J. (1997). *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos* (2º). Madrid: Editorial Munilla-Lería.
- Monjo Carrió, J. (2005). La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización. *Informes de La Construcción*, 57(499–500), 37–54. Retrieved from <https://doi.org/10.3989/ic.2005.v57.i499-500.481>
- Murat, M. (1983). Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals I. Preliminary investigation on metakaolinite. *Cement and Concrete Research*, 13(2), 259–266. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0008-8846\(83\)90109-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0008-8846(83)90109-6)
- Ohama, Y. (1998). Polymer-based admixtures. *Cement and Concrete Composites*, 20(2–3), 189–212. <https://doi.org/polymer-based admixtures polymer modification polymer-modified mortar and concrete polymer-cement ratio properties applications research and development standards specifications guides>
- Orús Asso, F. (1985). *Materiales de construcción* (7ª). Madrid: Editorial Dossat, S.A.
- Prado Govea, R. H., Cereceda, M. L., Spairani, Y., & Huesca Tortosa, J. A. (2009). Estudio y caracterización de morteros para la restauración arquitectónica. In *X Congreso Latinoamericano de Patología y XII Congreso de Calidad en la Construcción* (p. 9). Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Chile. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10045/12207>
- Ramakrishnan, V. et al. (1992). *Latex-modified Concretes and Mortars* (Synthesis of Highway Practice No. 179). Washington. Retrieved from http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_179.pdf
- Restrepo Gutiérrez, J. C., Restrepo Baena, O. J., & Tobón, J. I. (2006). Efectos de la adición de metacaolín en el cemento portland. *Dyna*, (150), 131–141.
- Rodríguez-Mora, O. (2004). *Morteros para fábricas*. (AFAM, Ed.) (2ª). Madrid. Retrieved from http://www.arquitectosdecadiz.com/wp-content/uploads/2017/12/afam._guia_morteros_para_fabrica._01.2006.pdf
- Rodríguez, A., Junco, C., & Calderón, V. (2016). Durability behavior of steelmaking slag masonry mortars. *Materials and Desingn*, 97, 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.02.080>

- Rodríguez García, M. R., Pereda Marín, J., Polo Velasco, J., & Barrios Sevilla, J. (1994). The adherence in the union stone-mortar. *Materiales de Construcción*, 44(234), 13–27.
- Rosa Roca, N. (2012). *Estanqueidad en fachadas. Manual de prevención de fallos*. (E. Meseguer Peña & T. Barceló Clemares, Eds.) (1ª). Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia.
- Rozenbaum, O., Pellenq, R. J., & Van Damme, H. (2005). An experimental and mesoscopic lattice simulation study of styrene- butadiene latex-cement composites properties. *Materials and Structures*, 38(May), 467–478. <https://doi.org/10.1617/14356>
- Sainz de Cueto Torres, F. J., & Menéndez de Llano Núñez, S. (1998). Adherencia de los morteros de revoco y restauración. *Revista Digital Del Cedex*, 7, 112. Retrieved from <http://ingenieriacyil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1444>
- Saiz Martínez, P., González Cortina, M., Fernández Martínez, F., & Rodríguez Sánchez, A. (2018). Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication. *Journal of Cleaner Production*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.088>
- San Bartolomé, A., Deza, U., & Quezada, G. (1997). Mejora de la adherencia ladrillo-mortero en muros confinados contruidos con unidades sílico-calcáreas. In *Libro de ponencias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil*. Trujillo.
- Sepulcre Aguilar, A., & Hernández Olivares, F. (2010). Assessment of phase formation in lime-based mortars with added metakaolin, Portland cement and sepiolite, for grouting of historic masonry. *Cement and Concrete Research*, 40(1), 66–76.
- Silva, P. S., & Glasser, F. P. (1990). Hydration of cements based on metakaolin: thermochemistry. *Advances in Cement Research*, 3(12), 167–177. [https://doi.org/10.1016/0273-1181\(90\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0273-1181(90)90012-1)
- Simarro Barceló, R. (2011). *Hormigón de matriz cementicia mixta de látex*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10251/13554>
- Torres Carrasco, M., & Puertas, F. (2017). La activación alcalina de diferentes aluminosilicatos como una alternativa al Cemento Portland: cementos activados alcalinamente o geopolímeros. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32(2), 5–12.
- Vitruvio, M. L. (2000). *Los diez libros de arquitectura* (1º). Barcelona: Editorial Iberia, S.A.
- Vizcaíno Andrés, L. M., Sánchez Berriel, S., Damas Carrera, A., Scrivener, K. L., & Martirena Hernández, J. F. (2015). Industrial trial to produce a low clinker , low carbon cement. *Materiales de Construcción*, 65(317), 11. <https://doi.org/10.1016/j.mc.2015.00614>
- Wang, R., & Wang, P. (2009). Physical properties of SBR latex-modified mortar

- under different curing conditions. *Kuei Suan Jen Hsueh Pao/Journal of the Chinese Ceramic Society*, 37, 2118–2123.
- Wang, R., & Zhang, L. (2015). Mechanism and Durability of Repair Systems in Polymer-Modified Cement Mortars. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015, 8. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(97\)80026-X](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(97)80026-X)
- Winnik, M. A. (1997). Latex film formation. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2(2), 192–199. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(97\)80026-X](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(97)80026-X)
- Yanguatin, H., Tobón, J., & Ramírez, J. (2017). Reactividad puzolánica de arcillas caoliniticas , una revisión. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32(2), 13–24.
- Yusuf, T. O., Ismail, M., Usman, J., & Noruzman, A. H. (2014). Impact of Blending on Strength Distribution of Ambient Cured Metakaolin and Palm Oil Fuel Ash Based Geopolymer Mortar. *Advances in Civil Engineering*, 2014, 8. <https://doi.org/10.1155/2014/658067>
- Zhong, K., Sun, M., Zhang, M., Qin, Y., & Li, Y. (2020). Interfacial and mechanical performance of grouted open-graded asphalt concrete with latex modified cement mortar. *Construction and Building Materials*, 234(20), 117. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117394>

9.3.- NORMATIVA

EHE 08 – Instrucción de hormigón estructural.

Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego.

Instrucción para la recepción de cementos (RC-08). Real Decreto 956/2008 de 06 de junio. Consolidada incluso con rectificaciones de BOE11/09/2008. Ministerio de Presidencia. BOE 19 junio 2008, núm. 148, [pág. 27794]; rect. BOE 11 septiembre 2008, núm. 220.

UNE-EN 196-1:2018 Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias.

UNE-EN 196-2:2014 Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Análisis químico de cementos.

UNE-EN 196-3:2017 Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.

UNE-EN 196-5:2011 Métodos de ensayo de cementos. Parte 5: Ensayo de puzolanidad para los cementos puzolánicos.

UNE-EN 196-6:2019 Métodos de ensayo de cementos. Parte 6: Determinación de la finura.

UNE-EN 196-7:2008 Métodos de ensayo de cementos. Parte 7: Métodos de toma y preparación de muestras de cemento.

UNE-EN 196-8:2010 Métodos de ensayo de cementos. Parte 8: Determinación del calor de hidratación. Método por disolución.

UNE-EN 196-9:2011 Métodos de ensayo de cementos. Parte 9: Determinación del calor de hidratación. Método semiadiabático.

UNE-EN 196-10:2016 Métodos de ensayo de cementos. Parte 10: Determinación del contenido de cromo (VI) soluble en agua en cementos.

UNE-EN 197-2:2014 Cemento. Parte 2: Evaluación de la conformidad.

UNE-EN 413-1:2011 Cementos de albañilería. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad.

UNE-EN 413-2:2017 Cementos de albañilería. Parte 2: Métodos de ensayo.

UNE-EN 450-1:2013 Cenizas volantes para hormigón. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.

UNE-EN 459-1:2016 Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.

UNE-EN 459-2:2011 Cales para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.

UNE-EN 459-3:2016 Cales para la construcción. Parte 3: Evaluación de la conformidad.

UNE-EN 771-1:2011+A1:2016 Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas de arcilla cocida.

UNE-EN 771-2:2011+A1:2016 Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 2: Piezas silicocalcáreas.

UNE-EN 771-3:2011+A1:2016 Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros).

UNE-EN 771-4:2011+A1:2016 Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 4: Bloques de hormigón celular curado en autoclave.

UNE-EN 771-5:2011+A1:2016 Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 5: Piezas de piedra artificial.

UNE-EN 771-6:2012+A1:2016 Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 6: Piezas de albañilería de piedra natural.

UNE-EN 772-18:2011 Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 18: Determinación de la resistencia al hielo-deshielo de las piezas silicocalcáreas para fábrica de albañilería.

UNE-EN 846-2:2001 Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 2: Determinación de la adhesión de las armaduras de tendel prefabricadas en juntas de mortero.

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.

UNE-EN 934-1:2009 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 1: Requisitos comunes.

UNE-EN 934-2:2010+A1:2012 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.

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.

UNE-EN 934-4:2010 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 4: Aditivos para lechadas para tendones de pretensado. Definiciones, especificaciones, conformidad, marcado y etiquetado.

UNE-EN 934-5:2009 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 5: Aditivos para hormigón proyectado. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.

UNE-EN 934-6:2002/A1 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 6: Toma de muestras, control y evaluación de la conformidad.

UNE-EN 998-1:2018 Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido.

UNE-EN 998-2:2018 Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería.

UNE-EN 1015-1:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 1: Determinación de la distribución granulométrica (por tamizado).

UNE-EN 1015-1:1999/A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 1: Determinación de la distribución granulométrica (por tamizado).

UNE-EN 1015-2:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo.

UNE-EN 1015-2:1999/A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo.

UNE-EN 1015-3:2000 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).

UNE-EN 1015-3:2000/A1:2005 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).

UNE-EN 1015-3:2000/A2:2007 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).

UNE-EN 1015-4:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 4: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por penetración del pistón).

UNE-EN 1015-6:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco.

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.

UNE-EN 1015-7:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 7: Determinación del contenido en aire en el mortero fresco.

UNE-EN 1015-9:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 9: Determinación del periodo de trabajabilidad y del tiempo abierto del mortero fresco.

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.

UNE-EN 1015-10:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.

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.

UNE-EN 1015-11:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.

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.

UNE-EN 1015-12:2016 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros de revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes.

UNE-EN 1015-17:2001 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 17: Determinación del contenido en cloruros solubles en agua de los morteros frescos.

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.

UNE-EN 1015-18:2003 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido.

UNE-EN 1015-19:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 19: Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros endurecidos de revoco y enlucido.

UNE-EN 1015-19:1999/A1:2005 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 19: Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros endurecidos de revoco y enlucido.

UNE-EN 1015-19:1999 ERRATUM Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 19: Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros endurecidos de revoco y enlucido.

UNE-EN 1015-21:2003 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 21: Determinación de la compatibilidad de los morteros de revoco monocapa con los soportes.

UNE-EN 1097-1:2011 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 1: Determinación de la resistencia al desgaste (Micro-Deval).

UNE-EN 1097-2:2010 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.

UNE-EN 1097-3:1999 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 3: Determinación de la densidad aparente y la porosidad.

UNE-EN 1097-4:2009 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 4: Determinación de la porosidad del filler seco compactado.

UNE-EN 1097-5:2009 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 5: Determinación del contenido de agua por secado en estufa.

UNE-EN 1097-6:2014 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua.

UNE-EN 1097-7:2009 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 7: Determinación de la densidad real del filler. Método del picnómetro.

UNE-EN 1097-8:2010 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 8: Determinación del coeficiente de pulimento acelerado.

UNE-EN 1097-8:2010/1M:2012 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 8: Determinación del coeficiente de pulimento acelerado.

UNE-EN 1097-9:2014 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 9: Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión por neumático claveteado. Ensayo nórdico.

UNE-EN 1097-10:2015 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 10: Determinación de la altura de succión de agua.

UNE-EN 1097-11:2013 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 11: Determinación de la compresibilidad y la resistencia a compresión confinada de los áridos ligeros.

UNE-EN 1745:2013 Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar las propiedades térmicas.

UNE-EN ISO 10534-1:2002 Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria. (ISO 10534-1:1996).

UNE-EN ISO 10534-2:2002 Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia. (ISO 10534-2:1998).

UNE-EN ISO 11654:1998 Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica.

UNE-EN 12004-1:2017 Adhesivos para baldosas cerámicas. Parte 1: Requisitos, evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones, clasificación y marcado.

UNE-EN 12004-2:2017 Adhesivos para baldosas cerámicas. Parte 2: Métodos de ensayo.

UNE-EN 12371:2011 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la heladicidad.

UNE-EN 13055-1:2003 Áridos ligeros. Parte 1: Áridos ligeros para hormigón, mortero e inyectado.

UNE-EN 13055-1/AC:2004 Áridos ligeros. Parte 1: Áridos ligeros para hormigón, mortero e inyectado.

UNE-EN 13139:2003 Áridos para morteros.

UNE-EN 13139/AC:2004 Áridos para morteros.

UNE-EN 13263-1:2006+A1:2009 Humo de sílice para hormigón. Parte 1: Definiciones, requisitos y criterios de conformidad.

UNE-EN 13318:2014 Mortero para recrecidos y acabados de suelos. Definiciones.

UNE-EN 13501-1:2019 Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación.

Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.

UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010 Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.

UNE-EN 13813:2014 Mortero para recrecidos y acabados de suelos. Propiedades y requisitos.

UNE-EN 13888:2009 Materiales de rejuntado para baldosas cerámicas. Requisitos, evaluación de la conformidad, clasificación y designación.

UNE-EN 13914-1:2019 Diseño, preparación y aplicación del revoco exterior y del enlucido interior. Parte 1: Revoco exterior.

UNE-EN 13914-2:2019 Diseño, preparación y aplicación del revoco exterior y del enlucido interior. Parte 2: Enlucidos interiores.

UNE-EN 14066:2014 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por choque térmico.

UNE-EN 14216:2015 Cemento. Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos especiales de muy bajo calor de hidratación.

UNE-EN 14647:2006 Cemento de aluminato de calcio. Composición, especificaciones y criterios de conformidad.

UNE-EN 15743:2010+A1:2015 Cemento sobresulfatado. Composición, especificaciones y criterios de conformidad.

UNE 41302:2013 IN Instrucciones para la aplicación de morteros de revestimiento exteriores e interiores.

UNE 80112:2016 Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la retracción de secado y del hinchamiento en agua.

UNE 80300:2019 IN Cementos. Recomendaciones para el uso de los cementos.

UNE 80303-1:2017 Cementos con características adicionales. Parte 1: Cementos resistentes a los sulfatos.

UNE 80303-2:2017 Cementos con características adicionales. Parte 2: Cementos resistentes al agua de mar.

UNE 80305:2012 Cementos blancos.

UNE 80307:2001 Cementos para usos especiales.

UNE 80309:2006 Cementos naturales. Definiciones, clasificación y especificaciones de los cementos naturales.

UNE 80402:2018 Cementos. Condiciones de suministro.

UNE 83830:2010 EX Morteros. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Determinación de la capacidad de eflorecer de los morteros para albañilería endurecidos.

UNE 103109:1995 Método de ensayo para determinar el índice "Equivalente de Arena" de un suelo.

UNE-EN 146901:2018 Áridos. Designación.

9.4.- INDICE GRÁFICO

9.4.1.- ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen nº 1.- El Panteón de Agripa. Roma. Fuente: Grabado de Piranesi.

Imagen nº 2.- Gráfico de evolución del precio del cemento – Fuente: INE.

Imagen nº 3.- Gráfico de granulometría Muestra 1 – Fuente: el autor.

Imagen nº 4.- Gráfico de granulometría Muestra 2 – Fuente: el autor.

Imagen nº 5.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión de las probetas de referencia – Fuente: el autor.

Imagen nº 6.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 7.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 8.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 9.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 10.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 11.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 12.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 13.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 14.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 15.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas de referencia. Fuente: el autor.

Imagen nº 16.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 17.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 18.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 19.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 20.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 21.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 22.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 23.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 24.- Gráficos de resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 25.- Gráfico de resultados de los ensayos de densidad en estado endurecido. Fuente: el autor.

Imagen nº 26.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas de referencia. Fuente: el autor.

Imagen nº 27.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:3 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 28.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 29.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 30.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:3 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 31.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 32.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 33.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:3 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 34.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 35.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 36.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas de referencia. Fuente: el autor.

Imagen nº 37.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:3 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 38.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:4 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 39.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:5 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 40.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:3 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 41.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:4 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 42.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 43.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a Compresión (DUR). Probetas 1:3 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 44.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 45.- Gráfico de resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:5 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 46.- Gráfico de resultados de los ensayos de absorción de cada dosificación. Fuente: el autor.

Imagen nº 47.- Gráfico de resultados de los ensayos de absorción para los morteros de referencia. Fuente: el autor.

Imagen nº 48.- Gráfico de resultados de los ensayos de absorción para los morteros adicionados con látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 49.- Gráfico de resultados de los ensayos de absorción para los morteros adicionados con metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 50.- Gráfico de resultados de los ensayos de absorción para los morteros adicionados con resina de base acuosa. Fuente: el autor.

Imagen nº 51.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 52.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 53.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 – látex. Fuente: el autor.

Imagen nº 54.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 55.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 – metacaolín. Fuente: el autor.

Imagen nº 56.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 57.- Gráfico de resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 58.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 – resina. Fuente: el autor.

Imagen nº 59.- Gráfico de resultados del ensayo de retracción. Todas las probetas. Fuente: el autor.

Imagen nº 60.- Precio en €/m³ de cada una de las dosificaciones utilizadas. Fuente: el autor.

9.4.2.- ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía nº 1.- Torre Casa de los Lujanes (Madrid): Fuente: Luis García (Licencia GNU).

Fotografía nº 2.- Pavimento de cal del yacimiento de Yiftahel. Fuente: Yosef Garfinkel.

Fotografía nº 3.- Palacio de Knossos en Creta. Fuente: Sonsoles González Rodrigo.

Fotografía nº 4.- Opus latericium en las ruinas de Mérida. Fuente: el autor.

Fotografías nº 5 y 6.- Arena utilizada y localización de la cantera de procedencia. Fuente: Áridos Siro, S.L.

Fotografía nº 7.- Ensayo de equivalente arena – Fuente: Santiago Villa Ortega.

Fotografía nº 8.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:4 Ref. Fuente: el autor.

Fotografía nº 9.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:4 10% metacaolín. Fuente: el autor.

Fotografía nº 10.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:5 10% metacaolín. Fuente: el autor.

Fotografía nº 11.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:5 5% metacaolín. Fuente: el autor.

Fotografía nº 12.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:5 15% metacaolín.
Fuente: el autor.

Fotografía nº 13.- Resultados del ensayo de adherencia – Probetas 1:5 50% - resina.
Fuente: el autor.

9.4.3.- ÍNDICE DE TABLAS

Tabla nº 1.- Composición del cemento CEM II/B-M (P-L) 32,5 N – Fuente: Lafarge.

Tabla nº 6.- Resultados de los ensayos de consistencia. Dosificaciones. Fuente: el autor.

Tabla nº 7.- Densidad absoluta agua 1 Atm – Fuente: el autor.

Tabla nº 8.- Clases habituales de morteros de obra. Fuente: el autor

Tabla nº 9.- Resultados de los ensayos de consistencia. Fuente: el autor.

Tabla nº 10.- Resultados de los ensayos de densidad en fresco. Fuente: el autor.

Tabla nº 11.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. 1:3 (c/s) - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 12.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 13.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 14.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 15.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 16.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 17.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 18.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:4 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 19.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:5 (c/s) - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 20.- Dosificaciones exitosas a efectos de resistencia a flexión. Fuente: el autor.

Tabla nº 21.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 22.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 23.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 24.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 25.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 26.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 27.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:3 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 28.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:4 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 29.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Probetas 1:5 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 30.- Dosificaciones exitosas a efectos de resistencia a compresión. Fuente: el autor.

Tabla nº 31.- Resultados de resistencia a flexión. Probetas de referencia envejecidas. Fuente: el autor.

Tabla nº 32.- Resultados del ensayo de resistencia de flexión (DUR). Probetas 1:3 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 33.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 34.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 35.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:3 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 36.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 37.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 38.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión. Probetas 1:3 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 39.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:4 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 40.- Resultados del ensayo de resistencia a flexión (DUR). Probetas 1:5 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 41.- Dosificaciones exitosas a efectos de resistencia a flexión (DUR). Fuente: el autor.

Tabla nº 42.- Resultados de resistencia a compresión (DUR). Probetas de referencia. Fuente: el autor.

Tabla nº 43.- Resultados del ensayo de resistencia de compresión (DUR). Probetas 1:3 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 44.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:4 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 45.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:5 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 46.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:3 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 47.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:4 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 48.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:5 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 49.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:3 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 50.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:4 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 51.- Resultados del ensayo de resistencia a compresión (DUR). Probetas 1:5 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 52.- Dosificaciones exitosas a efectos de resistencia a compresión (DUR). Fuente: el autor.

Tabla nº 53.- Resultados de los ensayos de absorción de cada dosificación. Fuente: el autor.

Tabla nº 54.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 55.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 56.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 - látex. Fuente: el autor.

Tabla nº 57.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 58.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 59.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 - metacaolín. Fuente: el autor.

Tabla nº 60.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:3 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 61.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:4 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 62.- Resultados del ensayo de adherencia. Probetas 1:5 - resina. Fuente: el autor.

Tabla nº 63.- Dosificaciones exitosas a efectos de este trabajo. Fuente: el autor.

Tabla nº 64.- Resultados de las mediciones de retracción. Fuente: el autor.

Tabla nº 65.- Precio en €/m³ de cada una de las dosificaciones utilizadas. Fuente: el autor.

9.4.4.- ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo nº 1.- Ensayos de consistencia.

Anexo nº 2.- Ensayos de densidad de mortero en estado fresco.

Anexo nº 3.- Ensayos de resistencia a compresión.

Anexo nº 4.- Ensayos de resistencia a flexión.

Anexo nº 5.- Ensayos de densidad de mortero en estado endurecido.

Anexo nº 6.- Ensayos de durabilidad.

6.1. Resistencia a compresión.

6.2. Resistencia a Flexión.

6.3. Absorción.

Anexo nº 7.- Ensayos de adherencia.

Anexo nº 8.- Ensayos de retracción.