

2. Componentes

2.1 Componentes básicos de las fábricas de ladrillo cerámico	11
2.1.1 Componente básico: Ladrillo cerámico.....	11
2.1.2 Componente básico: Mortero.....	26
2.2 Componentes auxiliares de las fábricas	53
2.2.1 Componentes auxiliares de las fábricas: Revestimientos y barreras..	53
2.2.2 Componentes auxiliares de las fábricas: Armaduras.....	56
2.2.3 Componentes auxiliares de las fábricas: Dispositivos de conexión.....	57
2.2.4 Perfiles para dinteles.....	58

2. Componentes

Una fábrica es esencialmente un conjunto de piezas unidas con argamasa. En determinadas ocasiones se precisa incorporar otros elementos auxiliares tales como imprimaciones, armaduras, dispositivos de anclaje, etc., con objeto de complementar sus prestaciones resistentes o funcionales. En este capítulo se indican las características principales de los componentes básicos y de los componentes auxiliares constitutivos de las fábricas de ladrillo cerámico, así como su designación y las propiedades que deben ser objeto de especificación en proyecto.

2.1 Componentes básicos de las fábricas de ladrillo cerámico

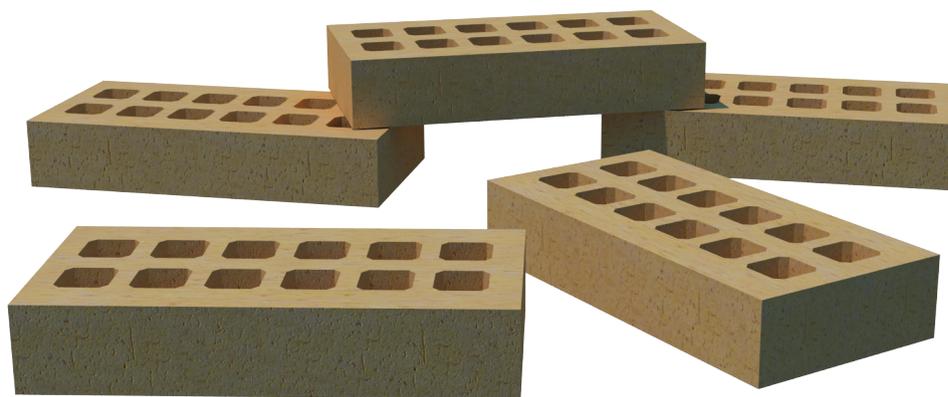
2.1.1 Componente básico: Ladrillo cerámico

En su acepción común, se define el *ladrillo cerámico* como una pieza generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a temperatura elevada de una pasta arcillosa, cuya mayor dimensión no supera los 30 cm.

El calificativo de “*cerámico*” incluye al ladrillo dentro de un amplio grupo al que pertenecen los materiales inorgánicos, no metálicos, procesados o consolidados a alta temperatura. Esta acepción de la ciencia de los materiales es mucho más amplia que la definición común del diccionario, la cual solamente considera “*cerámicos*” a los productos de tejería, alfarería, porcelana y similares.

Las clases de materiales generalmente considerados como cerámicos son óxidos, nitruros, boratos, carburos, silicatos y sulfuros. Sin embargo, por extensión también pertenecen al grupo de materiales cerámicos los compuestos intermetálicos como los aluminatos, además de los fosfatos, antimoniuros y arseniuros, que constituyen el campo de la *cerámica moderna o avanzada*¹.

Los ladrillos son productos *cerámicos tradicionales* cuyo principal componente es la arcilla. La arcilla con la que se elaboran los ladrillos es un material sedimentario de partículas muy pequeñas de silicatos hidratados de alúmina². El precursor del ladrillo es el *adobe*³, puesto que se basa en el mismo concepto de utilización de barro arcilloso para la ejecución de muros, aunque este último no experimenta los cambios físico-químicos de la cocción. En este sentido, el ladrillo es la versión irreversible del adobe, producto de la cocción a altas temperaturas.



¹ La cerámica moderna se utiliza para aplicaciones estructurales (componentes de artefactos, herramientas cortantes y cojinetes) y electrónicas (materiales ópticos y magnéticos, condensadores, sensores y superconductores de alta temperatura). También constituyen áreas importantes de la cerámica moderna o avanzada los materiales para aislamiento térmico, membranas y filtros. Ejemplos de materiales cerámicos modernos son los nitruros y carburos de silicio, la zirconita endurecida y la cerámica de fibra de vidrio-carbono reforzada.

² Según los tipos y procedencia, la arcilla se compone, además, de otros minerales como la illita y la montmorillonita, que recibe su nombre de la localidad francesa de Montmorillon, componente con un fuerte carácter expansivo.

³ La palabra actual que empleamos para designar el adobe proviene del término egipcio *dbt* que significa “ladrillo de barro crudo”.

El origen de la construcción con ladrillo se remonta a la más lejana antigüedad. Podría decirse que el ladrillo es el material de construcción más antiguo fabricado por el hombre. Se sabe que los habitantes de Jericó en Palestina fabricaban ladrillos desde hace unos 9.000 años, y eran utilizados como el principal material de construcción debido a la escasez de madera y piedras naturales. La importancia de la arcilla para las primeras sociedades sedentarias llega incluso a reflejarse en la religión de dichos pueblos, así según el Génesis, “Dios utilizó la arcilla para modelar al hombre”.

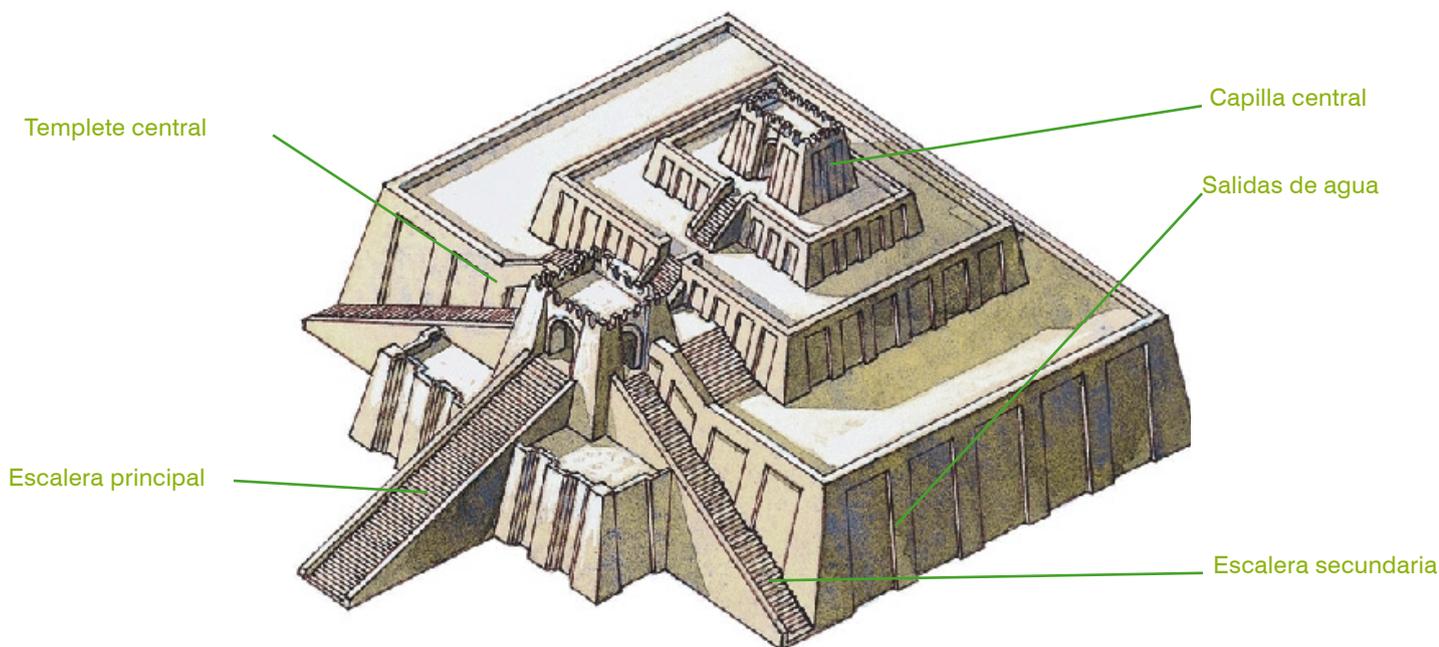
Los sumerios y babilonios levantaron zigurats⁴, palacios e incluso ciudades amuralladas con ladrillos secados al sol, que recubrían con otros ladrillos cocidos en hornos, más resistentes y decorativos, para lo cual los reves-

tían con esmaltes brillantes formando frisos ornamentales. Se fabricaban ladrillos allí donde se disponía de arcilla, generalmente en zonas próximas a los ríos o llanuras aluviales, como en Mesopotamia donde la arcilla era el material de construcción más asequible, tanto para muros en forma de adobes y ladrillos, como para cubiertas y suelos. Su uso en la construcción se difundió primero a Egipto⁵ y al lejano Oriente, pasando después a Europa a través de Grecia y Roma. En sus últimos años los persas construían con ladrillos al igual que los chinos, que levantaron la gran muralla.

El mundo greco-romano fue más lento en la incorporación de la arcilla a sus edificaciones, ya que no utilizan el ladrillo cocido hasta aproximadamente el siglo I a. C. Una gran aportación de los griegos es la invención de la teja,

que servía para cubrir los techos y proteger las estructuras de madera⁶.

La cultura del Imperio Romano, a pesar de haberse incorporado tardíamente a la utilización de la arcilla como material básico, fue sin embargo la gran difusora de la construcción en ladrillo, consiguiendo además unas piezas cerámicas muy resistentes con gran riqueza de formas y tamaños. La técnica de diseñar y construir con ladrillo permitió la realización de los vastos complejos monumentales del Imperio, por la posibilidad de reducir costes y tiempo. Los monumentos erigidos con ladrillo se podían terminar en un corto plazo, pudiendo ser revestidos posteriormente con piedra o con estuco para mejorar el acabado. Los romanos construyeron con ladrillos baños, anfiteatros y acueductos que, en la mayoría de las ocasiones, revistieron de mármol.



Esquema de templo mesopotámico o Zigurat



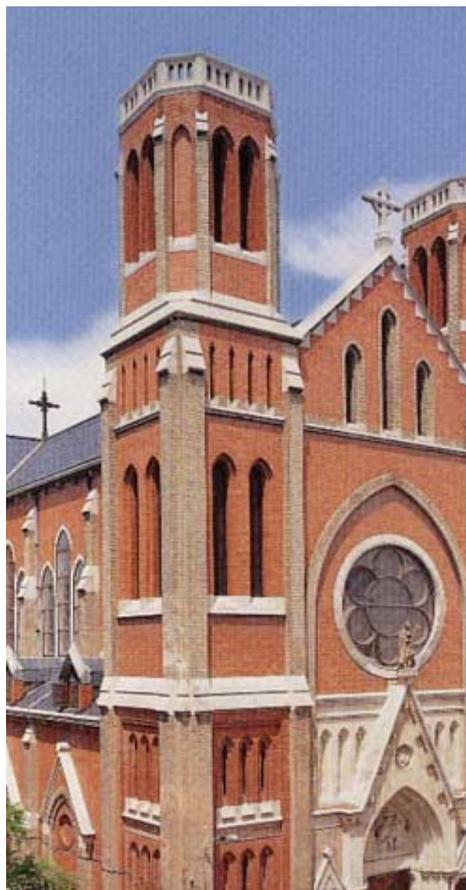
Durante el curso de la Edad Media, tanto en el Imperio Bizantino como en el norte de Italia, en los Países Bajos y en Alemania, así como en cualquier otro lugar donde escaseara la piedra, los constructores valoraban el ladrillo por sus cualidades decorativas y funcionales. Realizaron construcciones con ladrillos templados, rojos y sin brillo, creando una amplia variedad de formas, como cuadros, figuras de punto de espina, de tejido de esterilla o lazos flamencos. Esta tradición continuó en el renacimiento y en la arquitectura georgiana británica, que utilizaba el ladrillo tanto en edificios domésticos como en palacios y castillos y fue llevada a América del Norte por los colonos⁷.

Pero fue en España donde, por influencia musulmana, el uso del ladrillo alcanzó mayor difusión, sobre todo en Castilla, Aragón y Andalucía. Los enladrillados policromos propios de la arquitectura neogótica del siglo XIX supusieron otro desarrollo estilístico europeo que se extendió por todo el mundo.

Desde entonces hasta nuestros días la técnica de construcción con ladrillo evoluciona continuamente. En la actualidad el ladrillo es un material muy presente, tanto en el ámbito doméstico como en edificios singulares o emblemáticos. A lo largo del último siglo reconocidos diseñadores y arquitectos han demostrado de forma fehaciente el papel que puede asumir el ladrillo en la arquitectura contemporánea.

Sin embargo, las piezas cerámicas, es decir los *ladrillos*, mantienen desde milenios sensiblemente la misma composición, proporción, tamaño, forma y

aspecto. Este carácter tradicional de los ladrillos cerámicos (y cuando hablamos de tradición nos referimos a una tradición milenaria) que se mantiene como un invariante a lo largo de la historia es, cuando menos, una garantía de idoneidad de su diseño para todas y cada una de las aplicaciones a las que se ha destinado.



**Parroquia Santuario
Nuestra Señora del Perpetuo Socorro**
Arquitecto Juan Bautista Lázaro
(1849-1919)
Estilo gótico racionalista

4 La configuración de la torre de Babel bíblica corresponde al tipo arquitectónico del *zigurat*. La descripción da idea de que ya se conocía la técnica de cocer la arcilla: “Y se dijeron unos a otros: Venid, hagamos ladrillos y cozámoslos al fuego. Y se sirvieron de ladrillos en lugar de piedras, y de betún en vez de argamasa...” (Libro del Génesis, Capítulo XI, versículo 3).

5 En Egipto la roca también era muy abundante, lo que provocó que ambos materiales constructivos alternaran. En general, la piedra se reservaba para conjuntos arquitectónicos de gran entidad y elevado costo como los templos.

6 Los romanos desarrollaron y perfeccionaron el sistema de tejas inventado por los griegos con el uso de *tegulas e imbrices*.

7 Aunque en algunos textos históricos se atribuye a los colonos la introducción de los ladrillos en el nuevo continente, lo cierto es que el ladrillo, en sus formas incipientes, ya era conocido por los indígenas americanos de las civilizaciones prehispánicas. En regiones secas construían casas de ladrillos de adobe secado al sol. Las grandes pirámides de los olmecas, mayas y otros pueblos fueron construidas con ladrillos revestidos de piedra.

Fabricación de los ladrillos cerámicos

El trabajo de la arcilla como realización humana consciente aparece por primera vez en el Paleolítico Superior (25.000 a. C.) con las esculturas de barro secas. Desde este primer momento hasta la actualidad, las técnicas y métodos de elaboración de la arcilla han experimentado una constante evolución, a la vez que ha aumentado la demanda y la variedad de usos aplicados a los productos cerámicos.

Existe una gran diversidad de procesos para fabricar los productos cerámicos en general. Teniendo en cuenta que los usos de la arcilla, desde la

antigüedad, trascienden el campo de la construcción, la elección del proceso adecuado para un producto particular se fundamenta en la complejidad de la forma, los requisitos de prestaciones específicas y el costo del producto terminado.

En particular, los ladrillos son productos cerámicos de formas simples y de costo relativamente barato, pero con una gran diversidad de campos de aplicación y cada vez con mayores exigencias en lo que se refiere a prestaciones mecánicas y físicas para su adecuado empleo en la construcción de edificios.

La fabricación de ladrillos cerámicos para la construcción actual es un proceso cada vez más industrializado, resultado de una constante evolución de las técnicas y sistemas, para conseguir productos de elevadas prestaciones en diferentes aspectos, que se han ido adaptando a lo largo de mucho tiempo a las exigencias de calidad que la sociedad reclama para sus edificios. A continuación se expone una breve síntesis del conjunto de los procesos fundamentales encaminados a la fabricación de ladrillos. Sólo hacemos una pequeña alusión a las técnicas no industriales, aunque muchas de ellas siguen siendo empleadas hoy día por alfares de producción artesanal, habida cuenta de que las variantes regionales e incluso locales son muy significativas.

Fabricación de ladrillos: Materia prima

La materia prima fundamental utilizada para la producción de la cerámica tradicional y de los ladrillos en particular es la arcilla⁸, por tratarse de un elemento que, al aplicarle agua, se convierte en dúctil y maleable. La forma que se le confiere cuando está húmeda se conserva tras la desaparición del agua, haciendo de este material el más versátil de los que el hombre ha tenido a su alcance. La abundancia de la arcilla en la naturaleza, su relativa facilidad de tratamiento y la resistencia e impermeabilidad que confiere a los elementos, son los motivos de que este material sea uno de los más profusamente utilizados desde las civilizaciones antiguas.



**Chace Center (Integrado en la Escuela de Diseño de Rhode Island)
Arquitecto: Rafael Moneo**

La arcilla se compone, en esencia, de sílice, alúmina, agua y cantidades variables de óxidos de hierro y otros materiales alcalinos, como los óxidos de calcio y los óxidos de magnesio. Las arcillas que tienen mejores condiciones para la industria cerámica son las secundarias o sedimentarias, producto de la descomposición de los feldespatos por la acción erosiva de la atmósfera, junto con la acción química del anhídrido carbónico y emanaciones volcánicas, que han sido transportadas y depositadas a lo largo del tiempo en pantanos, lagos o ríos, adquiriendo diversas sustancias durante el traslado y la sedimentación, que las hacen aptas para las distintas aplicaciones. Se presentan en terrenos estratificados, generalmente en capas muy regulares.

Las arcillas micáceas son las más abundantes en la corteza terrestre y las que se emplean habitualmente en la industria ladrillera. Su estructura está formada por la superposición de un gran número de planos paralelos idénticos entre sí.

Las propiedades físicas más destacadas de la arcilla son: el tamaño de la partícula, la fluidificación, la plasticidad por la mezcla con una adecuada cantidad de agua, el endurecimiento por la acción de calor, la coloración debida a la presencia de óxidos metálicos y la capacidad de absorber materiales como aceites, colorantes o gases.

Las propiedades químicas más importantes para la industria cerámica son las relacionadas con las reacciones efectuadas entre los diferentes silicatos de la arcilla para formar un material con propiedades específicas como resistencia, dureza, densidad y baja absorción.

- *Tamaño de las partículas de la arcilla*

Las partículas de arcilla tienen un tamaño inferior a una micra ($\mu = 0,001$ mm), por lo que presentan una gran superficie relativa al volumen, lo que favorece las otras dos propiedades de fluidificación y plasticidad.

- *Fluidificación de la arcilla*

La arcilla tiene la propiedad de mantenerse en suspensión en el agua durante un cierto tiempo, depositándose lentamente en estratos. Esta velocidad de sedimentación puede ser acelerada o retardada añadiéndole un electrolito.

Las arcillas en general tienen reacción alcalina. Los electrolitos alcalinos aumentan la fluidificación y deslizamiento; al contrario que los ácidos, que provocan la coagulación o floculación.

- *Plasticidad de la arcilla*

La *plasticidad* se define en física como la propiedad que tiene un cuerpo de conservar una deformación permanente por la acción de una fuerza. Representa un estado intermedio entre el sólido y el líquido.

Las arcillas poseen la propiedad de adquirir plasticidad a medida que se les añade agua, pasando por un máximo, y después disminuye al formarse una suspensión, por separarse demasiado las laminillas de material al interponerse el agua en su estructura cristalina.

La plasticidad depende de la naturaleza del mineral disperso y de la polaridad del líquido, por lo que existen varias teorías para explicar la plasticidad de las arcillas: morfológicas (tamaño y forma de las partículas), físicas (ca-

8 También se utilizan otras materias plásticas, como el *caolín*, llamado así al silicato de aluminio hidratado o arcilla pura; y otras no plásticas, como los desgrasantes, fundentes y colorantes.

pilaridad y tensión superficial) y químicas (fenómenos coloidal y electroquímicos).

Se puede intervenir en la plasticidad de las arcillas incorporando determinados productos. La plasticidad aumenta con sustancias inorgánicas, como los hidróxidos, carbonatos o silicatos sódicos; y sustancias orgánicas, como el oxalato y lactato sódico, tanino, ácido oleico y humus. Disminuye con productos desgrasantes y fundentes, como la arena, que se añade en la fabricación de ladrillos para evitar las grietas en el proceso de desecación; o el serrín, turba, menudos de carbón y grafito, que se añaden para conseguir ladrillos ligeros.

La temperatura también disminuye la plasticidad puesto que provoca una disminución de agua, aunque se precisa que sea elevada. El aire interpuesto es causa de disminución de la plasticidad, por lo que es habitual hacer el vacío en la máquina extrusora para aumentarla.

Fabricación de ladrillos: Procesos

Extracción de la arcilla

La obtención de arcilla se puede realizar de diversas formas, aunque los procedimientos fundamentales de extracción son dos, en función de la situación de la cantera.

La arcilla que se halla en la orilla de los ríos y en superficie se consigue cortándola en bloques. Resulta un sistema sencillo pero tiene el inconveniente de portar gran cantidad de materia orgánica que debe ser eliminada para la correcta cocción de la pasta.

La arcilla enterrada se debe extraer de forma parecida a la que se utiliza en las minas a cielo abierto. El procedimiento consiste en cavar hasta encontrar una veta arcillosa, que queda expuesta completamente, separándola de las capas de tierra y vegetación. Se crea de esta manera una mina a cielo abierto de la cual se obtiene la arcilla cortándola en bloques.

La situación geográfica de las factorías suele estar íntimamente relacionada con el lugar en el que se obtiene la materia prima con el objeto de facilitar su transporte o incluso eliminarlo completamente.

Maduración de la arcilla

Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción, hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo en acopio, para obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.

El reposo a la intemperie tiene, en primer lugar, la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución

de los nódulos para impedir las aglomeraciones de las partículas arcillosas.

Se suelen preparar las arcillas provocando primero una meteorización, exponiéndolas en capas de pequeño espesor a la acción del hielo y lluvias, para que se disgreguen y laven.

La exposición a la acción atmosférica favorece, además, la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte y poco propenso a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

Tratamiento mecánico previo

Después de la maduración que se produce en la zona de acopio, sigue la fase de pre-elaboración que consiste en una serie de operaciones cuya finalidad es purificar y refinar la materia prima.

En primer lugar se rompe el material hasta reducir las dimensiones de los terrones a un diámetro comprendido entre 15 y 30 mm. A continuación se separa la arcilla de las piedras o chinós, haciéndola pasar por dos cilindros que giran a diferentes velocidades. El *desintegrador* se encarga de triturar los terrones de mayor tamaño, más duros y compactos, por la acción de una serie de cilindros dentados.

La última operación de esta fase es el paso por el *laminador refinador*, formado por dos cilindros rotatorios lisos montados en ejes paralelos, separados entre sí de 1 a 2 mm, espacio por el cual se hace pasar la arcilla sometiéndola a un aplastamiento y un planchado que hacen aún más pequeñas las partículas.

Así se consigue la eventual trituración de los últimos nódulos que pudieran estar todavía en el interior del material.

Humidificación de la arcilla

Antes de iniciar la operación de moldeo, se lleva la arcilla a un mezclador, donde se agrega agua para obtener la humedad precisa, en proporciones diferentes según el procedimiento que se vaya a utilizar en el moldeo, hasta formar un barro consistente.

Las partículas del material son capaces de absorber higroscópicamente hasta el 70% en peso de agua. Debido a la característica de absorber humedad, la arcilla, cuando está hidratada, adquiere la plasticidad suficiente para ser moldeada, muy distinta de cuando está seca, que presenta un aspecto terroso.

Moldeo de la masa

La fase de fabricación de la cerámica en la cual la materia prima inicial adquiere formas útiles se llama *moldeo primario*. En este proceso se aprovecha la plasticidad de la arcilla cuando se mezcla con agua, aunque se pueden agregar plastificantes orgánicos para lograr la plasticidad deseada, o desgrasantes que confieren a la pasta una mayor resistencia y una menor contracción durante el secado⁹.

El moldeo normalmente se hace en caliente utilizando vapor saturado aproximadamente a 130°C y a presión reducida. Procediendo de esta manera, se obtiene una humedad más uniforme y una masa más compacta, puesto que el vapor tiene mayor poder de penetración que el agua.



En general, los procesos de moldeo primario se pueden realizar por vaciado, extrusión, prensado, grabado y moldeo por inyección. Los habituales en la fabricación de ladrillos cerámicos son el moldeo por extrusión y el moldeo por prensado¹⁰.

La *extrusión* es un proceso que consiste en forzar a que la masa plástica pase a través de una boquilla situada al final de la extrusora. La boquilla es una plancha perforada que tiene la sección en negativo del objeto que se quiere producir.

La tira expulsada se corta posteriormente a la longitud deseada, procurando que resulten ásperas las caras que forman los lechos para que se adhieran mejor al mortero. A menudo se usan procesos secundarios de acabado para dar la forma exacta a la pieza obtenida por extrusión. Los ladrillos obtenidos por este procedimiento deben mantener constante la sección, reproducida en negativo por la forma de la boquilla.

El *prensado* se usa si las piezas a fabricar tienen relieves y superficies curvas, que no se pueden producir por extrusión. El proceso consiste en conseguir la forma de las piezas por consolidación bajo presión. Las mezclas que se utilizan contienen menor proporción de agua que las utilizadas en el proceso de extrusión. Los productos resultantes son más compactos, con la forma general del recipiente y cualquier perfil del estampado inferior¹¹.

Los moldes deben ser de mayores dimensiones que las del objeto que se desea obtener, para prever la contracción (entre el 10% y el 15%) que expe-

rimentan las pastas en los siguientes procesos de desecación y cocción.

Desecación de la arcilla

La desecación previa a la cocción es una de las fases más delicadas del proceso de fabricación de ladrillos. De esta etapa depende, en gran parte, el buen resultado y la calidad del producto, sobre todo en lo que se refiere a la ausencia de fisuras.

Tiene por objeto eliminar de la pasta el agua de amasado, que viene a ser del 15% al 50% de su peso, hasta que quede reducida al mínimo posible, en torno a un 5%.

La desecación se debe practicar de una manera lenta y gradual, para evitar alabeos y resquebrajaduras, produciéndose una disminución paulatina de peso y un color más claro. Es normal que la eliminación del agua del material crudo se lleve a cabo insuflando aire caliente mezclado con una cantidad de humedad variable. Esto elimina cambios bruscos de temperatura y humedad y, por tanto, evita la producción de fisuras localizadas¹².

Esta operación se realiza en secadores situados generalmente en la parte alta de los hornos anulares para aprovechar el calor que irradia del horno. A veces se hace circular aire de un extremo a otro, por el interior del secador, y otras veces es el material el que circula por el interior en sentido contrario al aire calentado por unos radiadores, con los gases del horno, e impulsado por un ventilador o aspirador.

El recorrido suele durar unas veinticuatro horas, consiguiéndose de esta forma una desecación gradual, puesto que los ladrillos húmedos se van poniendo en

9 La utilidad de los desgrasantes era conocida por los antiguos egipcios en la fabricación de adobe. El barro del río Nilo reduce su tamaño casi un 30% cuando se seca; sólo la acción de estos compuestos permitía que los adobes se mantuvieran compactos y sin quebrarse.

10 El moldeo de ladrillos en la antigüedad tenía sus propios procedimientos que es posible reconstituir gracias a la información histórica, como las pinturas murales de tumbas egipcias y fuentes literarias romanas. La mezcla de arcilla y otros elementos (paja y arena), una vez se había constituido en una masa compacta y homogénea, se vertía en un molde con forma de paralelepípedo que solía estar recubierto con una fina capa de arena para evitar que se pegara. En países como Egipto, la cercanía a campos con paja y la proximidad de una fuente inagotable de agua facilitaban la rapidez en el moldeo de ladrillos. Una fábrica con una cuadrilla de cuatro albañiles produce tres mil ladrillos diarios en el Egipto moderno siguiendo el procedimiento antiguo. Aun admitiendo que la velocidad de producción fuera menor en época faraónica, la cantidad total sería considerable.

11 En los ladrillos cocidos de la antigüedad se estampaban a veces diversos motivos como el nombre del fabricante, del comerciante, del emperador reinante o de los cónsules. Esta costumbre comienza en Mesopotamia, y se extendió a Egipto y Roma.

12 Vitrubio en su obra "*De Architectura*" indicaba que las épocas del año más satisfactorias para arear las piezas cerámicas eran la primavera y el otoño, pues en ellas el secado se producía lentamente y sin cambios fuertes de temperatura.

contacto con el aire primeramente frío y húmedo que ha secado los ladrillos que le preceden, y después, gradualmente, con el aire más seco y caliente.

Cocción de los ladrillos

Las formas porosas obtenidas por molde se deben convertir en un material denso. Este proceso de la fabricación de ladrillos se denomina *cocción* en general, y también, con carácter más restringido, *sinterización* o *vitrificación* cuando se refiere a la fabricación de otros materiales cerámicos tradicionales.

En esta fase de la fabricación se consigue que la forma de los productos moldeados cerámicos permanezca inalterable, debido a la consistencia pétreo que adquieren por las reacciones que se verifican entre los elementos constitutivos de las arcillas. Este proceso

es fundamental para conseguir piezas con las características mecánicas adecuadas. La cocción se debe producir a una temperatura determinada y durante el tiempo necesario para que lleguen a formarse las fases vítreas que suponen la densificación del material.

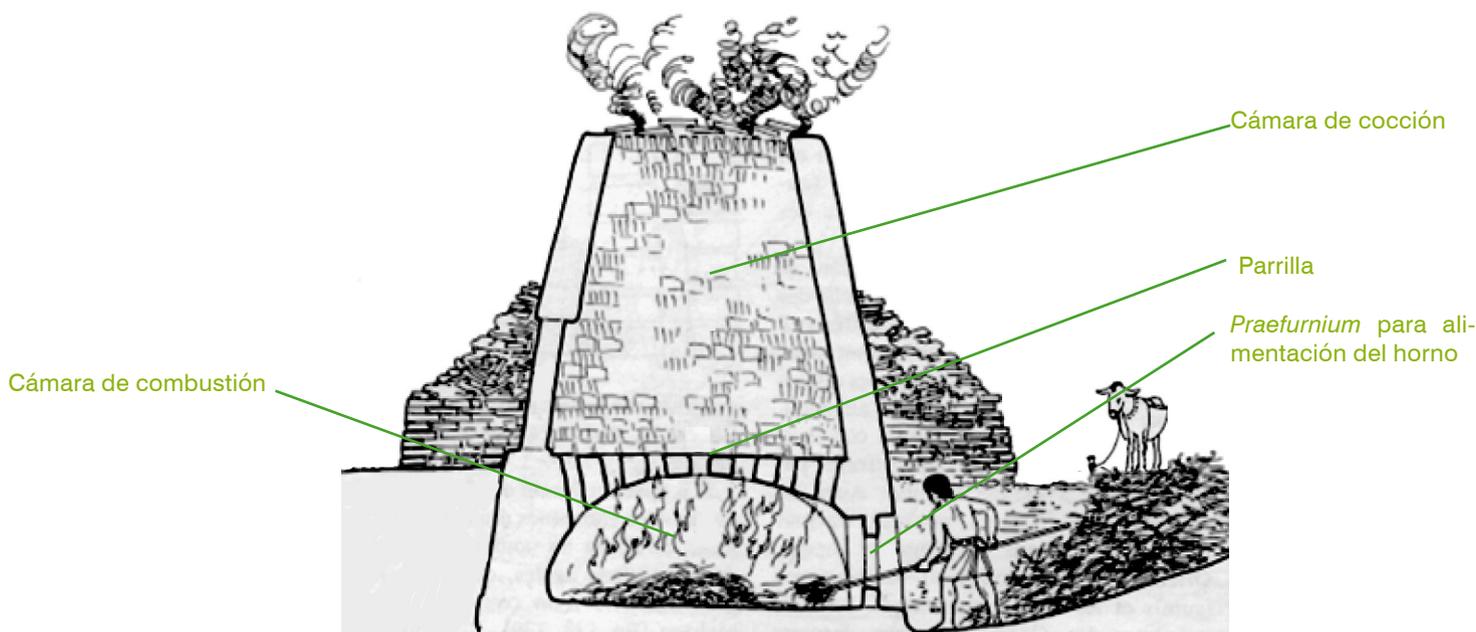
En la antigüedad se utilizaban hornos cerrados para la cocción de los ladrillos. El horno cerrado romano supone la culminación del modelo tradicional y estaba compuesto por tres partes fundamentales: la zona donde ardía la materia vegetal, la cámara de fuego en la que se expandía la llama y la cámara de cocción, en la que se cargaba y cocían los ladrillos. La cochura era muy larga, con una duración aproximada de tres días.

En las fábricas actuales de ladrillo la cocción se realiza en hornos de túnel,

de unos 2 m² de sección y que en algunos casos pueden llegar a medir hasta 120 m de longitud. En el interior del horno la temperatura varía de forma continua y uniforme; hay una zona de caldeo, otra central de cocción y la de enfriamiento. La temperatura punta oscila entre 900° C y 1200° C.

El material desecado colocado en carros especiales entra de forma continua por una de las extremidades del túnel, y sale por el extremo opuesto una vez que está cocido.

Durante las fases de endurecimiento, por secado o por cocción, el material arcilloso adquiere características de notable solidez con una disminución de masa, por pérdida de agua, comprendida entre un 5% y un 15%, referida a su estado plástico inicial. Los cambios más significativos que expe-



Esquema en sección de horno romano



rimenta la masa arcillosa con el calor, en función de la temperatura, son los siguientes:

La eliminación del agua higroscópica se produce a una temperatura aproximada de 100° C; en esta fase la arcilla todavía no pierde su agua de composición y conserva la propiedad de producir masas plásticas. La pérdida de la plasticidad se produce cuando el agua llamada *de combinación* es liberada, a temperaturas comprendidas entre 300° C y 400° C. Alrededor de los 700° C el agua de la arcilla es eliminada totalmente.

Las propiedades tales como la dureza, contracción y sonoridad se adquieren por la acción del calor, alrededor de los 800° C, cuando la sílice y la alúmina comienzan a formar un silicato anhidro, combinación que se completa en torno a los 1.100° C. Alrededor de 1.500° C aparecen los primeros síntomas de vitrificación.

Vidriado de los ladrillos, esmalte y pintura

Después de la cocción, las piezas cerámicas pueden requerir algún tipo de acabado específico para lograr determinadas propiedades de la superficie.

El vidriado consiste en cubrir con una capa vítrea la superficie de los productos cerámicos para hacerlos impermeables a los líquidos, fáciles de limpiar, y con diversas coloraciones mediante los esmaltes.

Los ladrillos y tejas se suelen vidriar con cloruro sódico o sal común, echándola sobre los objetos hacia el final de la cocción, que se disocia en

cloro y sodio; el sodio reacciona con la arcilla, formando un silicato aluminico sódico, que confiere al producto las propiedades del vidriado.

Los colores cerámicos se consiguen por la presencia de óxidos metálicos fundidos con silicatos aluminico-alcalinos (fundentes). Los más utilizados son los óxidos de hierro por su actividad y abundancia; dependiendo de si la llama es oxidante o reductora se obtiene color rojo, amarillo, pardo, verde o gris. También se utiliza el óxido de cobalto para el tono azul, el de cromo para algunos tonos verdes, el

de estaño para el blanco; y el de platino e iridio para distintas tonalidades de gris y negro.

Almacenaje de los ladrillos

Antes del embalaje se procede a la formación de paquetes sobre palés, que permitirán después moverlos fácilmente con carretillas de horquilla. El embalaje consiste en envolver los paquetes con cintas de plástico o de metal, de modo que puedan ser depositados en lugares de almacenamiento para posteriormente ser trasladados en camión.



Ladrillo vidriado

Especificaciones técnicas de los ladrillos cerámicos

Las especificaciones técnicas de los ladrillos cerámicos están recogidos en la norma UNE-EN 771-1:2003/A1:2006 “Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: piezas de arcilla cocida”.

Las características mecánicas y físicas de los ladrillos cerámicos, que deben ser objeto de especificación en proyecto, puesto que intervienen en su comportamiento estructural y condiciones de uso, se determinan de acuerdo con los criterios y procedimientos de las siguientes normas de ensayo:

- UNE 772 “Métodos de ensayo para piezas de fábrica de albañilería”.

Esta norma se compone de varias partes, dedicada cada una de ellas al aspecto específico que constituye el objeto de ensayo¹³.

- UNE 67027:1984 “Ladrillos de arcilla cocida. Determinación de la absorción de agua”. (Actualmente en desuso, se sustituye por el anejo C de la UNE-EN 771-1)
- UNE 67028:1997 EX “Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de heladicidad”.
- UNE 67030:1985 “Ladrillos de arcilla cocida. Medición de las dimensiones y comprobación de la forma”. (Actualmente en desuso, se sustituye por la UNE 772-16)

- UNE 67036:1999 “Productos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de expansión por humedad”.

- UNE 67039:1993 EX “Productos cerámicos de arcilla cocida. Determinación de inclusiones calcáreas”.

Geometría de los ladrillos

La forma del ladrillo es la de un prisma rectangular, y esta característica ha sido un invariante desde sus orígenes. El tamaño de los ladrillos, una vez se afianzó el proceso de fabricación, se fue estandarizando para facilitar la construcción de muros¹⁴.

Cada una de las tres aristas del prisma reciben el nombre de *soga*, *tizón* y *grueso*, respectivamente de mayor a menor. De la misma manera, cada una de las diferentes caras del ladrillo recibe el nombre de *tabla* (soga x tizón), *canto* (soga x grueso) y *testa* (tizón x grueso).

Por lo general, la *soga* tiene el doble de longitud que el *tizón* o, más exactamente, dos tizones más una junta, lo que permite combinarlos de diferentes formas. El *grueso*, por el contrario, puede no estar modulado.

Existen diferentes formatos de ladrillos, por lo general de un tamaño que permita manejarlos con una mano. Los ladrillos cara vista usados con mayor frecuencia, según las regiones, son el formato *métrico* o *castellano*, de 24 cm de soga y 11,5 cm de tizón; y el formato *atalán* de 29 cm de soga y 14 cm de tizón (nótese que la soga es dos veces el tizón más 1 cm de junta). El grueso es variable, ajustándose a los valores de la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Dimensiones aproximadas de los ladrillos

Dimensiones: soga x tizón x grueso (cm)	
Formato métrico o castellano	Formato catalán
24 x 11,5 x 7	29 x 14 x 7,5
24 x 11,5 x 5,2	29 x 14 x 6
24 x 11,5 x 3,5	29 x 14 x 5,2



Clasificación de los ladrillos

De las numerosas clasificaciones del ladrillo según el aspecto que se analice (proporción y orientación de huecos, geometría, acabado exterior, etc.) citamos en primer lugar la clasificación fundamental según la *clase*, que hace referencia a su campo de aplicación.

Ladrillo visto (V)

Los ladrillos vistos o *cara vista* deben tener alguna de sus caras con un acabado apropiado para manifestarse al exterior sin ningún tipo de revestimiento.

Las características que determinan el comportamiento de los ladrillos cara vista son la *absorción* y la *succión* (*ver apartado de características*).

Ladrillo común (NV)

Son ladrillos para utilizar normalmente en muros de carga y fábricas revestidas.

Tanto los ladrillos vistos como los ladrillos comunes deben tener las paredes con espesor suficiente para evitar fisuras en el proceso de fabricación o en el acopio y puesta en obra.

Los ladrillos se pueden clasificar también atendiendo al *grupo* al que pertenecen según la proporción, posición y tamaño de los huecos.

13 Relación de Normas UNE 772 que se refieren a procedimientos de ensayo de piezas cerámicas:

- UNE 772-1:2002 “*Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión*”.
- UNE 772-2:1999/A1:2005 “*Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 2: Determinación del porcentaje de superficie de huecos en piezas para fábrica de albañilería (por impresión sobre papel)*”.
- UNE 772-3:1999 “*Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Determinación del volumen neto y del porcentaje de huecos por pesada hidrostática de piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería*”.
- UNE 772-5:2002 “*Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 5: Determinación del contenido en sales solubles activas en las piezas de arcilla cocida para albañilería*”.
- UNE 772-7:1999 “*Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 7: Determinación de la absorción de agua por inmersión en agua hirviendo de piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería que sirven de barrera al agua por capilaridad*”.

- UNE 772-9:1999/A1:2008 “*Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 9: Determinación del volumen y porcentaje de huecos y del volumen neto, de piezas de arcilla cocida y silicocalcáreas para fábrica de albañilería, mediante relleno de arena*”.
- UNE 772-11:2001/A1:2006 “*Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería*”.
- UNE 772-13:2001 “*Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 13: Determinación de la densidad absoluta seca y de la densidad aparente seca de piezas para fábrica de albañilería (excepto piedra natural)*”.
- UNE 772-20:2001/A1:2006 “*Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 20: Determinación de la planeidad de las caras de piezas para fábrica de albañilería*”.

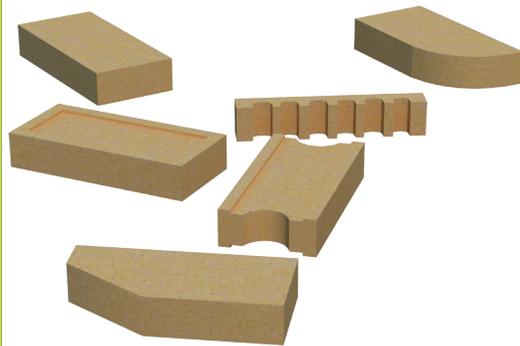
14 Vitrubio y Plinio indican cuáles son las medidas más frecuentes para los ladrillos crudos (*Lidio* 29,6 x 14,8; *tetradoron* 29,6 x 29,6; *pentadoron* 37 x 37). A pesar de que los estudios del mismo tipo para el Próximo Oriente y Egipto no están tan avanzados, se cree que las dimensiones del ladrillo también serían homogéneas, cuando menos por regiones y alfares.

Ladrillo macizo

Es el ladrillo sin perforaciones o con perforaciones en la tabla de volumen total no superior al 25% de la pieza, y de sección de cada perforación no superior a 2,5 cm².

Los ladrillos macizos se pueden obtener mediante un proceso de extrusión de la arcilla a través de una boquilla o por prensado sobre un molde. En este último caso las arcillas deben tener una granulometría específica y bajo contenido en humedad.

La mayoría de los ladrillos macizos se utilizan como ladrillos vistos. En particular, los ladrillos prensados tienen las características adecuadas para conseguir fachadas de gran efecto estético utilizando aparejos sin llagas (“a hueso”). Algunos incorporan en una o ambas tablas unos rebajos llamados *cazoletas*, cuya utilidad es la de poder albergar



Ladrillos macizos

un espesor de mortero suficiente para garantizar la perfecta adherencia entre las piezas, evitando problemas de estanquidad y resistencia, sobre todo si se emplean llagas de espesores inferiores a 0,5 cm. También suelen llevar rebajos en las testas para posibilitar la ejecución de muros sin llagas.

Ladrillo perforado

Presenta perforaciones en la tabla de volumen comprendido entre el 25% y el 45% del volumen de la pieza. Se obtienen por extrusión de la arcilla a través de una boquilla.

La resistencia y la estanquidad quedan aseguradas al penetrar el mortero en las perforaciones, lo que asegura una adherencia perfecta entre ambos materiales.

El ladrillo perforado es el que se utiliza con mayor profusión en muros de carga y en cerramientos de ladrillo cara vista, empleándose habitualmente en aparejos con llagas convencionales, en torno a 1 cm de espesor.

Ladrillo hueco

Presenta perforaciones en el canto o en la testa, cuya superficie de cada una de ellas no debe ser superior a 16 cm², lo que reduce el volumen de cerámica y de mortero empleado en la fábrica.

Su uso está restringido a tabiquería o a muros que no deben soportar cargas especiales y, los de mayor espesor, a cerramientos de fachada.

Se resumen en la tabla 2.2 las características y proporciones de huecos de cada uno de los grupos de piezas, según el *Documento Básico Seguridad Estructural: Fábrica*¹⁵ del Código Técnico de la Edificación.

Existen otros tipos especiales de ladrillo, que se caracterizan por tener alguna prestación específica en alguno de los aspectos relacionados con el acabado, el uso o la función a la que se destinan. Se indican los siguientes:

Tabla 2.2. Grupos de piezas

Característica	Grupo		
	Maciza	Perforada	Hueca
Volumen de huecos (% del bruto) ⁽¹⁾	≤ 25	≤ 45	≤ 70
Volumen de cada hueco (% del bruto)	≤ 12,5	≤ 12,5	≤ 12,5
Espesor combinado (% del ancho total) ⁽²⁾	≥ 37,5	≥ 20	--

⁽¹⁾ Los huecos pueden ser huecos verticales que atraviesen las piezas, rebajos o asas.

⁽²⁾ El espesor combinado es la suma de los espesores de las paredes y tabiquillos de una pieza, medidos perpendicularmente a la cara del muro.

*Fuente: DB SE-F, Tabla 4.1 “Grupos de piezas”.



Ladrillo de tejar o manual

Simula el antiguo ladrillo de fabricación artesanal, presentando una apariencia tosca con caras rugosas y no muy planas.

Se utiliza por su aspecto estético, produciendo excelentes resultados ornamentales.

No está sujeto a las tolerancias dimensionales.

Ladrillo de baja succión

Es el que tiene una succión inferior a 0,5 kg / (m²·min), lo que supone la necesidad de observar una serie de recomendaciones específicas para conseguir una correcta puesta en obra.

La cualidad de *baja succión* se consigue en el proceso de fabricación utilizando materias primas específicas, o sometiendo a los ladrillos a un tratamiento posterior, lo cual da lugar los siguientes tipos:

Ladrillo klínker y ladrillo gresificado

Son ladrillos cerámicos fabricados a partir de arcillas especiales que, al ser cocidas a altas temperaturas, cierran de tal forma su porosidad que dan como resultado un material muy denso y poco absorbente.

Tanto el *ladrillo klínker* como el *ladrillo gresificado* tienen una densidad superior a 2 g/cm³, y un coeficiente de absorción inferior al 6%. Además, el ladrillo klínker tiene una resistencia a normalizada a compresión superior a 40 N/mm².

Pueden ser perforados, macizos o prensados.

Ladrillo hidrofugado

El hidrofugado es un proceso que consiste en la aplicación de un producto que repele la humedad, bien por inmersión o bien por aspersión. Cuando se utiliza el sistema de aspersión, el hidrofugante se aplica sólo a las caras vistas y, a veces, parcialmente a las tablas, quedando sin hidrofugar zonas del interior de las perforaciones. Mediante el procedimiento de inmersión queda hidrofugada la totalidad de la superficie del ladrillo.

Es importante destacar que este proceso no elimina la capacidad de transpiración del ladrillo; esto significa que la pieza hidrofugada es impermeable al agua en estado líquido, pero mantiene la permeabilidad al paso de la misma en forma de vapor.

Ladrillo esmaltado

Es un ladrillo con sus caras vistas revestidas con esmalte, por monococción. Esto permite obtener una gran variedad de colores según los compuestos utilizados.

Tanto la succión como la absorción de los ladrillos esmaltados son prácticamente nulas en las caras vistas, por lo que su comportamiento ante el agua de lluvia es mejor que el correspondiente a los ladrillos comunes. En el resto de las caras las características siguen siendo las mismas de un ladrillo visto.

Ladrillos especiales

Son ladrillos de formas diversas, que se obtienen con boquillas o moldes especiales, gracias a la versatilidad del material cerámico. Responden a nece-

15 En adelante, DB SE-F.



Ladrillos especiales

sidades funcionales y ornamentales, por lo que algunas de sus características geométricas no están recogidas en la normativa, ya que corresponden a diseños particulares.

Habitualmente estas piezas se emplean para formar parte de un arco, realizar ménsulas, rematar cornisas y muros, encuentros en esquina, uniones en ángulo, cambios de espesor, redondeos, etc., facilitando el diseño y mejorando el acabado de encuentros complicados y puntos singulares.

Ladrillo acústico o fonoabsorbente

Es un ladrillo con el que se consiguen muros que superan los 45 dBA de aislamiento acústico a ruido aéreo.

Se utiliza para medianerías, generalmente enlucido con 1 ó 1,5 cm de yeso por ambas caras, por sus características de aislante acústico.

Sus dimensiones más habituales son 25 x 12,2 x 6,8 cm; y la colocación es similar a la de cualquier otro ladrillo cerámico.

Ladrillo refractario

Es un producto cerámico con una resistencia al calor igual o superior a 1500°C, y que, además de una pequeña conductividad térmica, presenta una gran resistencia a los agentes químicos y a la abrasión en caliente.

Estas propiedades se deben a la mayor proporción de óxido de aluminio en la composición de las arcillas.

Se utiliza para revestir chimeneas, barbacoas y espacios que vayan a estar en contacto directo con el fuego.

Características de los ladrillos cerámicos

Forma y dimensiones

Los ladrillos deben presentar regularidad de forma y dimensiones para que sea posible la obtención de tendeles de espesor uniforme, igualdad de hiladas, paramentos regulares y ausencia de asientos diferenciales. Este requisito es especialmente importante en los ladrillos cara vista. El fabricante debe declarar las dimensiones de las piezas en milímetros, en este orden: largo, ancho y alto. Se deben indicar en términos de *dimensiones nominales*, aunque también se pueden dar las *dimensiones modulares*⁶. Debe declarar, además, las tolerancias y recorridos según las categorías definidas en las tablas 2.3 y 2.4 respectivamente.

Cuando las piezas se vayan a utilizar con junta fina de mortero, el fabricante debe declarar también la desviación máxima de la planeidad y del paralelismo de las caras.

Parámetros físicos y mecánicos

Los parámetros físicos y mecánicos de los ladrillos se limitan a determinados valores mínimos o máximos, según los casos, con el objeto de asegurar la resistencia mecánica, la durabilidad y el aspecto de las fábricas ejecutadas.

• Masa

La masa de los ladrillos cerámicos está íntimamente relacionada con la clase y grupo al que pertenecen. Los ladrillos cara vista pertenecen al grupo

Tabla 2.3. Tolerancias de las dimensiones de los ladrillos cara vista

Categoría	Tolerancia (el mayor de los dos valores)	
	Valor relativo (mm)	Valor absoluto
T1	$\pm 0,40 \cdot (\text{dimensión nominal})^{1/2}$ (en mm)	± 3 mm
T2	$\pm 0,25 \cdot (\text{dimensión nominal})^{1/2}$ (en mm)	± 2 mm
Tm	Desviación en mm declarada por el fabricante	

Tabla 2.4. Recorrido máximo de las dimensiones de los ladrillos cara vista

Categoría	Recorrido máximo (mm) (para cualquier dimensión de la muestra)
R1	$0,60 \cdot (\text{dimensión nominal})^{1/2}$ (en mm)
R2	$0,30 \cdot (\text{dimensión nominal})^{1/2}$ (en mm)
Rm	Recorrido en mm declarado por el fabricante

*Fuente: Norma UNE-EN 771-1:2003/A1:2006 "Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas de arcilla cocida". Apartado 5.3.1.2 "Tolerancias dimensionales (piezas HD)".



de piezas macizas o perforadas, con una densidad aparente alta (mayor de 1000 kg/m^3 , según la norma UNE-EN 771-1).

El fabricante debe declarar, tanto la densidad aparente como la densidad absoluta de las piezas, puesto que este parámetro interviene directamente en el cumplimiento de los requisitos acústicos.

- **Resistencia a compresión**

Según el DB SE-F, artículo 4.1 “Piezas”, párrafo 4, la resistencia normalizada¹⁷ a compresión de los ladrillos debe ser como mínimo de 5 N/mm^2 .

No obstante, se pueden aceptar piezas con una resistencia normalizada a compresión inferior, hasta 4 N/mm^2 , en fábricas sustentantes y hasta 3 N/mm^2 en fábricas sustentadas, siempre que se limite la tensión de trabajo a compresión en estado límite último al 75% de la resistencia de cálculo de la fábrica, o se realicen estudios específicos sobre la resistencia a compresión de la misma.

La resistencia normalizada a compresión de los ladrillos debe ser declarada por el fabricante, y se expresa en múltiplos de 2,5 a partir del valor mínimo indicado.

- **Succión**

La succión es la característica que determina la velocidad con la que los ladrillos absorben el agua. Mide la masa de fluido que una pieza es capaz de incorporar inmediatamente después de ponerse en contacto con él, en relación a su superficie. La unidad de medida es $\text{kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{min})$.

Este parámetro, que indica la cantidad de agua que el material puede absorber del mortero durante el fraguado, es considerado como el principal índice de las piezas cerámicas en relación con la adherencia final del aparejo. La succión depende del número de poros capilares de la pieza pero sin embargo no da idea de su estructura¹⁸. Los poros de mayor diámetro (más de 5 micras) no provocan ninguna interacción con el mortero, pues no se producen fuerzas capilares suficientes para vencer las de la porosidad de aquel. Estos poros sólo capturan agua libre pero no contribuyen a extraer agua del mortero. Por ello, una elevada capacidad de succión del líquido no garantiza siempre una elevada interacción con el mortero.

Estudios que relacionan la succión con la adherencia apuntan que la resistencia de la fábrica ante tracciones aumenta con la succión pero hasta valores moderados de ésta. Para altas succiones disminuye debido a la fuerte interacción con las piezas inferiores y pérdida de adherencia con la hilada superior.

La succión de las piezas también condiciona el tiempo utilizado en su puesta en obra. Durante el intervalo desde que se deposita el mortero sobre la hilada inferior hasta que se coloca la pieza superior, aquélla puede absorber gran cantidad de agua disminuyendo la trabajabilidad de la pasta, lo que se traduce en una merma de la adherencia final con la hilada superior. Este efecto es más acusado cuanto más tiempo transcurre si no se humedecen previamente las piezas.

¹⁶ Las *dimensiones nominales* son las dimensiones reales de las piezas teniendo en cuenta las desviaciones admisibles especificadas. Las *dimensiones modulares* son las dimensiones del espacio ocupado por las piezas, incluyendo las holguras necesarias de juntas y tolerancias.

¹⁷ Se define “*resistencia normalizada a compresión de piezas de fábrica*” la que se obtiene por asimilación a la de una pieza equivalente secada al aire, de 100 mm de ancho y 100 mm de alto. La “*resistencia característica a compresión*” es la correspondiente al fractil 5% de la resistencia.

¹⁸ Piezas con índices semejantes de succión pero de diferente estructura capilar, tomadas con el mismo mortero, proporcionan fábricas con distinta adherencia.

El pliego de condiciones técnicas particulares debe fijar el límite de succión de agua de los ladrillos. En ningún caso debe ser superior a 4,5 kg / (m²·min).

Los valores extremos se dan para los ladrillos blancos con elevado porcentaje de carbonato cálcico en su materia prima, que presentan los valores máximos de succión; y en el otro extremo, con valores mínimos, los ladrillos klínker, gresificados e hidrofugados.

Los valores altos de succión pueden deshidratar el mortero, originando fisuras por las que pasa el agua a través del muro en periodos de lluvia relativamente cortos. Para evitar este problema hay que tomar la precaución de humedecer adecuadamente las piezas cerámicas antes de su colocación.

Cuando el valor de succión del ladrillo es inferior a 0,5 kg / (m²·min), se califica de baja succión y no se debe humedecer antes de la colocación, siendo necesario, además, observar una serie de precauciones especiales en su puesta en obra para un adecuado comportamiento (véase el capítulo de “Criterios”).

• Absorción

El coeficiente de absorción es la cantidad máxima de agua, expresada en porcentaje, que puede incorporar un ladrillo en su masa. Constituye un índice del adecuado proceso de cocción de los ladrillos.

El rango de variación del coeficiente de absorción oscila entre el 20% para los ladrillos blancos, y el 8% para los ladrillos cara vista comunes que se han cocido a 950°C, dependiendo siempre del tipo de arcilla.

La absorción de agua se manifiesta en periodos prolongados de lluvia.

Este parámetro debe ser declarado por el fabricante si se utilizan las piezas como barrera de anticapilaridad.

• Contenido de sales solubles

Este parámetro es importante cuando los ladrillos se utilizan en fábricas vistas o con una protección limitada (por ejemplo una fina capa de mortero). El fabricante debe declarar el contenido de sales solubles activas, basándose en las categorías que se indican en la tabla 2.5.

• Heladicidad

Es la característica que determina el comportamiento del ladrillo frente a la acción del hielo. Constituye un parámetro determinante de la durabilidad de la fábrica.

Los *ladrillos vistos* deben obtener la clasificación de “no heladizos”, puesto que quedan expuestos directamente a la acción de las inclemencias ambientales. Los *ladrillos no vistos* no precisan este requisito.

• Coloración

Los *ladrillos vistos* deben tener una coloración uniforme, aunque pueden presentar variaciones en tonos e intensidad siempre que se mantenga una entonación homogénea a lo largo de todo el suministro de la obra.

Los *ladrillos vistos* coloreados superficialmente se ensayan sometiéndoles a un proceso de cocción en horno eléctrico a 600°C durante dos horas. El resultado del ensayo resulta aceptable si las superficies de las caras coloreadas no experimentan variaciones de color ni de aspecto.

2.1.2 Componente básico: Mortero

El mortero es una mezcla compuesta por conglomerantes inorgánicos, como el cemento y la cal; agregados inertes o pasivos, también llamados áridos, como la arena, agua y, a veces, adiciones y/o aditivos. Se utiliza en albañilería para recibir, trabar y rejuntar piezas de las fábricas, y como revestimiento de superficies exteriores e interiores.

Tabla 2.5 Contenido de sales solubles activas de los ladrillos

Categoría	Contenido total en masa (%)	
	NA ⁺ + K ⁺	Mg ²⁺
S 0	Sin exigencia	Sin exigencia
S 1	≠ 0,17	≠ 0,08
S 2	≠ 0,06	≠ 0,03

*Fuente: Norma UNE-EN 771-1:2003/A1:2006 “Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas de arcilla cocida”. Tablas 1 y 2 “Categorías según el contenido de sales solubles activas”.

Se tratan aquí en profundidad los *morteros para fábricas*¹⁹, cuya función es suministrar cohesión a las piezas o mampuestos, asegurando un comportamiento monolítico del conjunto. Los morteros de revestimiento y los morteros especiales se tratan sólo a nivel general, en cuanto que participan de características y propiedades comunes a los anteriores.

Además de la misión fundamental de conformar un elemento solidario, el mortero debe corregir las variaciones dimensionales y adecuar a la función prevista las características físicas de las piezas que amalgama. Por tanto, debe asegurar la continuidad superficial del elemento de fábrica evitando resquicios de aire o filtración de agua. Además contribuye al resultado estético que el proyectista diseña en las fábricas vistas, en aspectos como la dimensión modular, el color o la textura.

Especificaciones técnicas del mortero

Las especificaciones técnicas de los morteros para albañilería están recogidas en las siguientes normas:

- UNE-EN 998-1:2003/AC:2006 “Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido”.
- UNE-EN 998-2:2004 “Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería”.

Los procedimientos de ensayo de los morteros para albañilería se regulan por la norma UNE-EN 1015 “Métodos de ensayo de los morteros para albañilería”.²⁰

19 También se conocen con otras acepciones, tales como *morteros de juntas* o *morteros de levante*.

20 Relación de normas UNE-EN 1015 referentes a los procedimientos de ensayo de los morteros para albañilería:

- 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/A1:2007 “Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de muestras total del mortero y preparación de los morteros para ensayo”.
- UNE-EN 1015-3:2000/A1:2005/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/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 del mortero fresco”.
- UNE-EN 1015-9:2000/A1:2007 “Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 9: Determinación del período de trabajabilidad y del tiempo abierto del mortero fresco”.
- 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/A1:2007 “Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y compresión del mortero endurecido”.
- UNE-EN 1015-12:2000 “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/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/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 1015-21:2003 “Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 21: Determinación de la compatibilidad de los morteros de revoco monocapa con los soportes”.

Componentes del mortero

Esencialmente el mortero se compone de los áridos que dan volumen al conjunto, y del conglomerante que llena los vacíos que quedan entre los granos de áridos. El volumen final del mortero es menor que la suma de los volúmenes de sus componentes. Esto es debido a que gran parte de los finos ocupan los vacíos que quedan entre los granos de árido, cuyas partículas son de mayor tamaño.

El agua que se añade a la mezcla posibilita el proceso químico de endurecimiento del conglomerante o *fraguado*. Eventualmente se pueden incorporar determinados productos, generalmente líquidos, denominados aditivos, si se desea conferir alguna propiedad específica a mortero. Las propiedades del mortero dependen fundamentalmente de la clase o tipo de conglomerantes que lo compone. En un lugar secundario influye el tipo y tamaño de los áridos.

Los conglomerantes se dividen en dos clases según la necesidad de aire que precisan para fraguar:

- **Conglomerantes hidráulicos** (cemento y cal hidráulica): pueden fraguar con o sin presencia de aire, incluso bajo el agua.
- **Conglomerantes aéreos** (cal aérea viva y cal hidratada): necesitan la combinación con algún elemento del aire para fraguar, como por ejemplo el anhídrido carbónico que se combina con la cal aérea.

En razón de esta característica, la clase de conglomerante condiciona su campo de aplicación. En albañilería

se suelen utilizar conglomerantes hidráulicos. Los conglomerantes aéreos se emplean sólo en elementos muy expuestos al aire, tales como los revocos finos. Una excepción a esta regla es la cal aérea, que puede adquirir un cierto grado de hidráulicidad cuando se le adiciona en pequeñas proporciones cemento o polvo de ladrillo. Ello permite utilizar este conglomerante en determinados casos de fraguado sin aire, y se puede combinar con el cemento hidráulico para mejorar sus propiedades de plasticidad y adherencia.

En general, los conglomerantes hidráulicos tienen más resistencia mecánica pero menos capacidad de adherencia que los aéreos.

La clasificación de los conglomerantes en función de su resistencia mecánica, de mayor a menor, es la siguiente:

- Cemento común
- Cemento de albañilería
- Cal hidráulica
- Cal aérea
- Yeso

Componentes del mortero: Cemento

El cemento es una mezcla de caliza, arcilla, hierro y magnesio (estos dos últimos en pequeñas cantidades). Es un conglomerante que mezclado con agua, arena y a veces cal, forma una masa plástica y untuosa que se endurece rápidamente al secarse. Proporciona una buena cohesión a las construcciones de fábrica, es impermeable y permite obtener una gran resistencia mecánica y química.

Con rigor se debería hablar de cementos (en plural) ya que existen dos categorías: el natural y el artificial. La primera categoría comprende un cierto número de productos que se diferencian por su composición y resistencia, siendo la caliza el principal componente.

Dentro de la segunda categoría, el más conocido de los cementos artificiales y el que confiere mayor resistencia al mortero es el *cemento pórtland*, cuyo nombre proviene de la isla de Pórtland, de donde se extrae la roca caliza necesaria para su composición.

El proceso de fabricación del cemento pórtland artificial consiste en triturar y moler la roca en seco o con un método llamado "*húmedo*". De ello se obtiene un polvo cuyos granos no sobrepasan el milímetro de espesor. Esta mezcla se cuece a una temperatura aproximada de 1.450°C. El producto obtenido, llamado *klinker*, se enfría y se reduce a polvo en un torno para formar el cemento.

Según los mismos principios, pero añadiéndole otros productos como cal, puzolana o cenizas, se obtienen los cementos derivados como el cemento de lechada, de puzolana o de cenizas.

Estos diferentes productos ofrecen calidades y niveles de resistencia diferentes, los cuales se encuentran indicados en los sacos.

En general, los cementos deben cumplir las prescripciones técnicas que se especifican en la *Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08)*, aprobada por Real Decreto 956/2008 de 6 de junio, que regula la recepción de los cementos mediante la presenta-



ción de los documentos que acredita el mercado CE, o el cumplimiento del Real Decreto 1313/1988, de 28 de octubre, por el que se declara obligatoria la homologación de los cementos y, según corresponda, la realización de una inspección visual del suministro.

Los procedimientos de ensayo de cementos se rigen por la Norma UNE-EN 196 “*Métodos de ensayo de cementos*”.²¹

Los diferentes tipos de cemento atendiendo a las características adicionales que presentan y las normas en las que están definidos, son los siguientes:

Cementos sujetos al mercado CE

- *Cemento común (CEM)*

Está definido en la Norma UNE-EN 197-1:2000/A3:2008 “*Cemento. Parte 1: composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes*”. Se compone, en general, de clínker y adiciones tales como escorias de horno alto, humo de sílice, puzolana natural o calcinada, cenizas volcánicas, esquistos calcinados y caliza, en diferentes proporciones que condicionan su clasificación en una amplia gama de tipos.

No tienen ninguna característica adicional específica, y se utilizan para la fabricación de morteros y hormigón estructural²².

La designación de los cementos comunes debe comenzar con la referencia a la norma UNE-EN 197-1. Los cementos pórtland se designan con las siglas CEM I, seguidas de la clase de resistencia y de la letra “R” o “N” si son de alta resistencia inicial o de resistencia

21 Relación de normas UNE-EN 196 referentes a los procedimientos de ensayo de los cementos:

- UNE-EN 196-1:2005 “*Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas*”.
- UNE-EN 196-2:2006 “*Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Análisis químico de cementos*”.
- UNE-EN 196-3:2005 “*Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen*”.
- UNE-EN 196-5:2006 “*Métodos de ensayo de cementos. Parte 5: Ensayo de puzolanidad para los cementos puzolánicos*”.
- UNE-EN 196-7:2008 “*Métodos de ensayo de cementos. Parte 7: Métodos de toma y preparación de muestras de cemento*”.
- UNE-EN 196-8:2005 “*Métodos de ensayo de cementos. Parte 8: Determinación del calor de hidratación. Método por disolución*”.

inicial normal, respectivamente. Por ejemplo: “Cemento pórtland EN 197-1 CEM I 32,5 N”, corresponde a un cemento pórtland de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal. Los cementos pórtland con adiciones se designan con las siglas CEM II seguidos de una barra (/) y de la letra que indica el subtipo (A ó B) separada por un guión (-) de la letra que identifica el componente principal empleado como adición. Los cementos con escorias de horno alto, los cementos puzolánicos y los cementos compuestos se designan con las siglas CEM III, CEM IV y CEM V, respectivamente²³.

- UNE-EN 196-9:2005 “*Métodos de ensayo de cementos. Parte 9: Determinación del calor de hidratación. Método semiadiabático*”.

- UNE-EN 196-10:2008 “*Métodos de ensayo de cementos. Parte 10: Determinación del contenido de cromo (VI) soluble en agua en cementos*”.

22 La Instrucción RC-08 incluye dentro de la calificación de *cementos comunes* a los que tienen la característica adicional de bajo calor de hidratación, lo que supone un valor característico del calor de hidratación inferior a 270 J/g (medido a los 7 días según el “*método de disolución*”, o a las 41 horas según el “*método semiadiabático*”).

23 Para la fabricación de morteros de albañilería se recomienda el uso de la clase 32,5 debido a que los cementos de clases superiores producen mezclas menos plásticas, para iguales resistencias del mortero. Las clases elevadas se deben especificar sólo en el caso de utilizar cementos blancos. Este tipo de cementos, con o sin cal, y con áridos procedentes de mármoles machacados o calizas caoliniticas, se utiliza para la fabricación de morteros blancos y coloreados.

Tabla 2.6 Prescripciones mecánicas y físicas de los cementos comunes

Clase de resistencia ⁽¹⁾	Resistencia a compresión (N/mm ²) UNE-EN 196-1		Tiempo de fraguado UNE-EN 196-3		Estabilidad de volumen UNE-EN 196-3	Calor de hidratación ⁽²⁾ (J/g)	
	Resistencia inicial (N/mm ²)		Resistencia nominal (N/mm ²)			Inicio (minutos)	Final (horas)
	2 días	7 días	28 días		UNE-EN 196-9		
						41 horas	7 días
32,5 N	--	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75		
32,5 R	≥ 10,0	--	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75		
42,5 N	≥ 10,0	--	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	≤ 12	≤ 10
42,5 R	≥ 20,0	--	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	≤ 12	≤ 10
52,5 N	≥ 20,0	--	≥ 52,5	--	≥ 45		
52,5 R	≥ 30,0	--	≥ 52,5	--	≥ 45		

⁽¹⁾ N = resistencia inicial normal; R = alta resistencia inicial.

⁽²⁾ Sólo para los cementos de bajo calor de hidratación.

Tabla 2.7 Prescripciones químicas de los cementos comunes

Característica	Norma de ensayo	Tipo de cemento	Clase de resistencia	Prescripción ⁽¹⁾
Pérdida por calcinación	UNE-EN 196-2	CEM I CEM III	Todas	≤ 5,0%
Residuo insoluble	UNE-EN 196-2	CEM I CEM III	Todas	≤ 5,0%
Contenido de sulfatos (expresado en SO ₃)	UNE-EN 196-2	CEM I CEM II(2) CEM IV CEM V CEM III ⁽³⁾	32,5 N	≤ 4,0%
			32,5 R	
			42,5 N	
			42,5 R	
			52,5 N	
52,5 R				
Contenido de cloruros (CL ⁻)	UNE 80217 (EN 196-21)	Todos ⁽⁴⁾	Todas	≤ 0,10%
Puzolanicidad	UNE-EN 196-5	CEM IV	Todas	Puzolanicidad a la edad de 8 ó 15 días

⁽¹⁾ Las prescripciones expresadas en porcentaje se refieren a la masa del cemento final

⁽²⁾ El cemento tipo CEM II/B-T puede contener hasta el 4,5% de sulfato para todas las clases de resistencia.

⁽³⁾ El cemento tipo CEM III/C puede contener hasta el 4,5% en masa de sulfato.

⁽⁴⁾ El tipo de cemento CEM III puede contener más del 0,10% de cloruros, pero en tal caso el contenido máximo debe ser consignado en los envases y el los albaranes de entrega.

*Fuente: "Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08)". Tabla A1.1.3. y Tabla A1.1.4

Las prescripciones relativas a las características mecánicas y físicas, y las relativas a las características químicas, que deben cumplir los cementos comunes, incluidos los de bajo calor de hidratación, figuran en las tablas 2.6 y 2.7, respectivamente, según sus clases de resistencia.

• *Cemento de escorias de horno alto de baja resistencia inicial (L)*

Está definido en la norma UNE-EN 197-4:2005 "Cemento. Parte 4: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos de escorias de horno alto de baja resistencia inicial".

Tienen una reducida resistencia inicial comparada con la de un cemento común de la misma clase de resistencia, por lo que pueden necesitar alguna precaución adicional tal como la ampliación del tiempo de retirada de apeos o un cuidado especial con climatologías severas.

Tabla 2.8 Prescripciones mecánicas y físicas de los cementos de albañilería

Tipo y clase de resistencia	Resistencia a compresión (N/mm ²) UNE-EN 196-1			Tiempo de fraguado UNE-EN 196-3		Finura sobre tamiz de 90 μ m UNE 80122(EN 196-6)	Estabilidad de volumen UNE-EN 196-3
	7 días	28 días	≤ 15	Inicio (minutos)	Final ⁽²⁾ (horas)	Residuo (%)	Expansión (mm)
MC 5	---	≥ 5	≤ 15	≥ 60	≤ 15	≤ 15	≤ 10
MC 12,5	≥ 7	$\geq 12,5$	$\leq 32,5$				
MC 12,5 X ⁽¹⁾	≥ 7	$\geq 12,5$	$\leq 32,5$				
MC 22,5 X	≥ 10	$\geq 22,5$	$\leq 42,5$				

⁽¹⁾ El término "X" designa un cemento de albañilería al cual no se ha incorporado un aditivo inclusor de aire.

⁽²⁾ Si el tiempo de principio de fraguado es menor de 6 horas, no se prescribe ningún requisito para el final del fraguado.

*Fuente: "Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08)". Tabla A1.5.3b.

• *Cemento especial de muy bajo calor de hidratación (VLH)*

Está definido en la norma UNE-EN 14216:2005 "Cemento. Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos especiales de muy bajo calor de hidratación".

Para este tipo de cementos sólo existe una clase de resistencia (22,5). Los morteros que utilizan este tipo de cemento en su fabricación necesitan una protección adicional contra la desecación y la carbonatación durante su curado.

Tabla 2.9 Prescripciones químicas de los cementos de albañilería

Característica	Norma de ensayo	Tipo y clase de cemento	Prescripción (% en masa, referido a muestra desecada)
Contenido de sulfatos (expresado como SO ₃)	UNE-EN 196-2	MC 5	$\leq 2,0$
		MC 12,5	$\leq 3,0^{(1)}$
		MC 12,5 X	
		MC 22,5 X	
Contenido de cloruros (expresado como Cl ⁻)	UNE 80217:1991	MC 5	---
		MC 12,5	$\leq 0,10$
		MC 12,5 X	
		MC 22,5 X	

⁽¹⁾ Si el contenido de clínker es mayor o igual al 55% de su masa, el límite máximo aplicable debe ser el 3,5% en masa.

*Fuente: "Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08)". Tabla A1.5.4.

- **Cemento de albañilería (MC)**

Está definido en la norma UNE-EN 413-1:2005 “*Cementos de albañilería. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad*”.

Se compone de clínker de cemento pórtland en proporción no inferior al 25% en masa, elementos inorgánicos tales como cales hidráulicas o hidratadas y, en algunos casos, aditivos en proporción no superior al 1% en masa²⁴. Eventualmente puede incluir pigmentos, excepto aquellos que contengan negro de humo. Para controlar el fraguado se suele añadir sulfato de calcio en pequeñas cantidades a los otros componentes del cemento de albañilería durante su fabricación.

El cemento de albañilería reemplaza a la cal hidráulica reforzada con una pequeña cantidad de cemento, cumpliendo una función casi similar.

La principal característica es el corto tiempo de fraguado, cualidad necesaria cuando se debe levantar una fábrica en vertical con rapidez.

Requiere más tiempo de amasado y se trabaja con mayor dificultad que el mortero común, aunque puede corregirse esta circunstancia añadiendo una pequeña proporción de cal aérea.

Las prescripciones relativas a las características mecánicas y físicas, y las relativas a las características químicas, que deben cumplir los cementos de albañilería, figuran en las tablas 2.8 y 2.9, respectivamente, según sus clases de resistencia.

Adicionalmente, para los cementos de albañilería también son de aplicación algunas de las prescripciones establecidas para el mortero fresco que se indicarán más adelante.

Cementos sujetos al Real Decreto 1313/1988

Para muchas aplicaciones, particularmente en condiciones ambientales severas, la composición del cemento puede influir en la durabilidad de los morteros y pastas, haciéndolos vulnerables a los agresivos químicos, a los ciclos hielo-deshielo y, en su caso, mermando las condiciones de protección de las armaduras. Cuando el cemento se utiliza en condiciones especialmente severas en alguno de estos aspectos se debe recurrir a los cementos comunes con características adicionales específicas. Los que se indican a continuación no están sujetos al marcado CE, sino que las condiciones de recepción se rigen por el Real Decreto 1313/1988, de 28 de octubre, por

el que se declara obligatoria la homologación de los cementos para la fabricación de morteros y hormigones.

- **Cemento resistente a los sulfatos (SR)**

Está definido en la norma UNE 80303-1:2001/1M:2006 “*Cementos con características adicionales. Parte 1: cementos resistentes a los sulfatos*”.

El cemento resistente a los sulfatos es un cemento común en cuya fabricación se emplea un clínker que tiene restringida la proporción de aluminatos de calcio para hacerlo resistente a la posible combinación con sulfatos. Tiene una resistencia mecánica ligeramente inferior a la del cemento común equivalente y se debe utilizar cuando el contenido de sulfatos sea igual o mayor que 600 mg/l en el caso de aguas, o 3.000 mg/kg en el caso de suelos.

- **Cemento resistente al agua de mar (MR)**

Está definido en la Norma UNE 80303-2:2001 “*Cementos con características adicionales. Parte 2: cementos resistentes al agua de mar*”.

Análogamente al tipo anterior, se trata de un cemento común, fabricado con clínker que tiene restringida la proporción de aluminatos y ferro aluminatos para poder ser utilizado en elementos expuestos al ataque del agua de mar.

Se debe utilizar en ambiente marino sumergido o de zona de carrera de mareas (medio marino alternado), que corresponden a los ambientes III b y III c, respectivamente, conforme a las clases de exposición definidas en la tabla 3.1 “*Clases generales de exposición*” del DB SE-F.



- **Cemento blanco (BL)**

Está definido en la norma UNE 80305:2001 “*Cementos blancos*”.

El cemento blanco es similar al cemento común o de albañilería en cuanto a sus características mecánicas, físicas y químicas, pero con unas prescripciones adicionales de blancura. Debe cumplir con el requisito de color definido por las coordenadas CIELAB determinadas según el método de ensayo de la norma UNE 80117:2001 “*Métodos de ensayos de cementos. Ensayos físicos. Determinación del color en los cementos blancos*”, de tal manera que el parámetro L^* sea igual o mayor que 85,0.

Existe un único tipo y clase de cemento blanco de albañilería, designado como *BL 22,5 X UNE 80305*. La designación significa que se trata de cemento blanco (BL) con una resistencia característica a compresión a los 28 días de 22,5 N/mm² (22,5) y sin agente inclusor de aire (X).

- **Cemento para usos especiales (ESP)**

Está definido en la norma UNE 80307:2001 “*Cementos para usos especiales*”.

Está compuesto por cemento klínker, escorias de horno alto, puzolanas naturales (en contenido no superior al 40%) o cenizas volantes, y otros componentes minoritarios adicionales, como por ejemplo, filler.

Componente del mortero: Conglomerante cal

La cal es el conglomerante más antiguo que se conoce. Hasta la revolución industrial y el descubrimiento del cemento en Pórtland (1824), la cal ha sido el principal ligante de la construcción en morteros, revestimientos y pinturas. Se ha utilizado desde antiguo para proporcionar solidez a los edificios de piedra, formando parte también de los frescos y estucos que los decoran.

Se produce a partir de caliza y una pequeña proporción de arcilla (sólo el 10%) cocidas a altas temperaturas. La fabricación de cales comprende dos procesos químicos, calcinación e hidratación, a los cuales van asociadas las operaciones de transporte, trituración y pulverización de la caliza, además de la separación por aire y el almacenamiento adecuado de la cal obtenida, para evitar los procesos de recarbonatación.

Muchas de las propiedades de la cal, útiles para los diferentes usos a los que se destina, dependen de la calidad de la caliza utilizada, que varía según la roca de extracción. De las calizas más puras proceden las cales aéreas o *grasas*, y de las calizas más arcillosas, ricas en sílice, proceden las cales hidráulicas o *magras*.

Los constructores antiguos aplicaban las cales disponibles en las canteras y caleras más próximas debido a las dificultades del transporte, aunque conocían una amplia gama de procedimientos para corregir los efectos de las cales encontradas, y dotar a sus morteros de determinadas cualidades necesarias para el caso concreto de aplicación,

24 El contenido de aditivos orgánicos no debe superar el 0,5% expresado en masa del producto desecado.

25 Quizás por esta razón en la actualidad a las cales hidráulicas se les atribuye un carácter menos tradicional, asociado también a la idea de que se trata de cales menos puras.

independientemente de la procedencia de la cal, como son el control de la rapidez en el endurecimiento, la dureza y las propiedades impermeabilizantes.

Esta circunstancia dio lugar a que surgieran varias denominaciones para la cal, típicas de los lugares de procedencia, pero es fácil suponer que todas las clases de cal han convivido desde todos los tiempos, aunque en la literatura sobre el tema no se mencionan las cales con propiedades hidráulicas hasta hace dos siglos²⁵.

Además de la composición de la roca de procedencia, en las propiedades de la cal obtenida interviene decisivamente el proceso de fabricación, sobre todo la temperatura de calcinación. Una caliza impura produce una cal dura si se calcina a temperaturas elevadas.

La porosidad y, como consecuencia, la densidad de las cales también depende de la temperatura de calcinación; a mayor temperatura se obtiene menor porosidad y por lo tanto mayor densidad. Como consecuencia de esto, a mayor temperatura la cal va perdiendo actividad química; es por esta razón por lo que conviene sinterizar la cal a temperaturas próximas a la de disociación de la caliza.

Según el tipo de caliza utilizada, la cocción permite la fabricación de varios tipos de cal.

- *Cal aérea*

Procede de una caliza pura (carbonato de calcio). La calcinación se produce por la cocción a una temperatura en torno a los 900°C, y va acompañada de una pérdida del 45% de su peso, correspondiente a la pérdida de gas carbónico.

El resultado de la cocción produce óxido de calcio (*cal viva*), que no posee propiedades de fraguado bajo el agua, o lo hace de forma muy lenta. El hidróxido de calcio (*cal apagada*) aplicable en la construcción se obtiene incorporando agua, proceso que se conoce como apagado de la cal. Este proceso genera mucho calor, por lo que se hace en fábrica o bien por personal especializado.

Cuando se apaga una cantidad de cal, se puede almacenar en una balsa o “*puñero*” durante años, dejando que siga *apagándose* y madurando. El periodo mínimo para poder ser usada es de seis meses, pero cuanto más tiempo pase en reposo mejor comportamiento tiene después, mejorando el siguiente proceso llamado *carbonatación* cuando se utiliza en revocos o morteros.

Una vez que la cal se utiliza empieza a cristalizar y a carbonatarse, desde la superficie hacia dentro, conservando un núcleo húmedo que es el que le confiere sus propiedades y elasticidad, gracias al cual tiene un comportamiento mecánico mejor que el de un cemento pórtland, tanto en morteros como en revocos exteriores e interiores.

El proceso de carbonatación se inicia con el agua añadida en la elaboración del mortero. Este proceso supone una reacción lenta, que puede durar varios meses y exige la presencia de agua y gas carbónico del aire a la vez.

Una vez evaporada el agua, la carbonatación continúa utilizando el ácido carbónico procedente de la afinidad que tiene el vapor de agua presente en el aire con el gas carbónico. Al cabo del tiempo, después de carbonatarse completamente, la cal apagada retorna a su estado original en la cantera, que es el de roca caliza.

Sólo la cal aérea se puede conservar en perfectas condiciones durante siglos, ya que posee poros que dejan transpirar a los muros y al mismo tiempo los impermeabilizan. La cal aérea, aplicada sobre ladrillo tradicional, regula la temperatura del interior gracias al efecto de “*respiración*” del muro a través suyo.

El inconveniente de la cal aérea cuando se usa en construcción es que tiene poca resistencia mecánica, por lo que habitualmente se utiliza mezclada con productos puzolánicos (cemento, escoria, etc.) para aumentar su resistencia, dando lugar a los otros tipos de cal que se indican a continuación.

La cal aérea constituye un producto ideal para revestimientos en los que se desea obtener un buen resultado final de acabado, gracias a la elevada finura y excelente maleabilidad, que se puede aumentar aún más trabajando con cal grasa en pasta. Su elevada porosidad permite el intercambio de vapor de agua en los cerramientos de los edificios y contribuye en buena medida al aislamiento térmico.

La cal de mejor calidad es la que tiene mayor porcentaje de carbonato; las ideales son las que se acercan a la composición del mármol, de aplicación muy limitada en albañilería.

- *Cal dolomítica*

Es un tipo particular de cal aérea. Las rocas de procedencia (calizas dolomíticas) tienen carbonato de calcio asociado con carbonato de magnesio.

La particularidad de la cal dolomítica es que se obtiene por cocción de las calizas dolomíticas a temperaturas inferiores a 900°C.

- *Cal hidráulica natural*

La cal hidráulica se denomina *natural* cuando no tiene ningún tipo de adición. Su resistencia viene dada por la combinación de los elementos contenidos en la roca de procedencia, que se produce durante el proceso de cocción.

Procede de rocas calizas mezcladas con arcillas, ricas en elementos químicos como hierro, aluminio y sílice. En el proceso de cocción a temperaturas comprendidas entre 800°C y 1.500°C, según el tipo de dureza y densidad que se desee obtener, el calcio se combina con dichos elementos químicos formando silicatos, aluminatos y ferro-aluminatos de calcio.

Al contacto con el agua estos compuestos tienden a formar hidratos insolubles, los cuales confieren al conglomerante un carácter hidráulico. La presencia de estos elementos produce un comportamiento como material de construcción similar al cemento blanco pero con peores resultados.



Al contacto con el aire húmedo, la cal y los hidratos así formados carbonizan al combinarse con el gas carbónico del aire. Esta reacción dura varios meses y es la parte aérea del proceso.

Los textos sobre materiales de construcción del siglo XIX clasificaban las cales hidráulicas según su índice de hidraulicidad, que dependía fundamentalmente de su contenido de arcilla, entre el 5% y el 30%. El contenido de arcilla constituye un factor que determina, no sólo la hidraulicidad de la cal, sino también su resistencia mecánica.

Las cales hidráulicas naturales tienen una resistencia a compresión a los 28 días comprendida entre 2 N/mm² y 5 N/mm². Las menos resistentes, con una resistencia mecánica similar a la de las cales aéreas, tienen un contenido muy bajo en arcilla (menor del 8%). A las más resistentes les corresponde un contenido en arcilla comprendido entre el 15% y el 20%. La mayor resistencia mecánica de las cales con mayor hidraulicidad, es decir, con mayor contenido en arcilla, se debe a la presencia de sílice en su composición.

La cal hidráulica natural se puede utilizar en construcción en el campo de rehabilitación de edificios antiguos, ya que no contiene ningún tipo de sulfato, aluminato ni otras sales perjudiciales²⁶.

Además, la cal hidráulica natural tolera las transferencias de humedad y sales minerales en los muros. La mayor impermeabilidad y buena resistencia a las agresiones ambientales, sobre todo en medio marítimo, la convierte en un ingrediente idóneo para la ejecución de revestimientos exteriores e interiores.

Gracias a su mayor endurecimiento inicial, la cal hidráulica natural permite realizar trabajos en el exterior durante todas las épocas del año, incluso durante los meses de invierno, siempre que se proporcione una protección contra el hielo, el agua de lluvia o el calor, durante las primeras 72 horas de curado.

- *Cal hidráulica artificial*

La cal hidráulica artificial consigue su resistencia durante el proceso de hidratación, es decir, durante su apagado, no durante la cocción. Se denomina también *cal hidratada* y tiene una hidraulicidad superior a la de las cales hidráulicas naturales. La calificación de *artificial* se debe a que se obtiene incorporando elementos puzolánicos en la mezcla, que se añaden antes o después de la cocción, tales como klínker, puzolanas de origen natural (volcánicas) o artificial (mezcla de sílice, aluminio y óxido férrico), cenizas volantes procedentes de la combustión del petróleo y escorias siderúrgicas.

La cal hidráulica artificial es similar al cemento "*natural*" (cemento cocido a temperaturas inferiores a la sinterización) ya que sus elementos constitutivos son prácticamente los mismos. El cemento pórtland sería el resultado de una cocción de los elementos citados, solo que con temperaturas mucho más altas (por encima de la sinterización). La diferencia se traduce en que el cemento adquiere mayor resistencia debido a un proceso de endurecimiento exclusivamente hidráulico. Como contrapartida, la cal tiene mejores cualidades bioclimáticas, mayor facilidad de manejo y más capacidad de retención de agua.

26 El cemento suele ser incompatible con prácticamente todos los materiales que constituyen los edificios del patrimonio a restaurar.

La cal hidráulica se utiliza para fabricar los *morteros de cal*, cuyos componentes básicos son la cal como conglomerante exclusivo, la arena y el agua. Estos morteros son más fáciles de usar y más flexibles, pero endurecen con más lentitud y una vez secos no son impermeables.

Por las razones anteriores, los morteros de cal tienen menos resistencia que los morteros de cemento. Esta merma de resistencia de los morteros hechos con cal puede tener importancia si se utilizan, por ejemplo, en cimentaciones, pero apenas tiene trascendencia en su aplicación para la construcción de fábricas de ladrillo.

Para obtener un mortero fácil de trabajar y también con una buena resistencia, es preferible mezclar cal y cemento en proporciones variables según sea su lugar de aplicación. Con este procedimiento se obtiene el *mortero bastardo* o *mortero mixto*, que no es propiamente mortero de cemento ni de cal, sino de ambos, y su finalidad es mejorar la plasticidad del mortero y la retención de agua del mismo, produciendo mezclas de un color más claro.

Los cristales de cal hidratada, por su reducido tamaño, se extienden alrededor de las partículas de cemento y áridos de mayor tamaño. Sus dimensiones facilitan su movimiento y su capacidad de unión, consiguiendo una plasticidad mayor. Así, la utilización de morteros mixtos proporciona una mayor resistencia a flexión del elemento construido, al dotar a las juntas de mayor plasticidad para absorber, sin romperse, las posibles elongaciones debidas a tensiones de tracción.

Lo habitual actualmente es utilizar cales aéreas (L), que se sirven en polvo o en pasta. También se pueden utilizar, aunque es menos frecuente, las cales hidráulicas (HL). En la ejecución de fábricas se debe utilizar cal aérea apagada, regulada por la norma UNE-EN 459-1/AC:2002 “*Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad*”. Se suministra en sacos de 50kg, si bien para pequeños trabajos se puede adquirir en bolsas de menor peso.

Las especificaciones y ensayos relativos a las cales usadas en la construcción están descritos en las siguientes normas:

- UNE-EN 459-2:2002 “*Cales para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo*”.
- UNE-EN 459-3:2002 “*Cales para la construcción. Parte 3: Evaluación de la conformidad*”.

Conglomerante yeso

El yeso es un mineral común que se encuentra en grandes depósitos en la naturaleza. Es un sulfato de calcio hidratado compacto o terroso; su

formación se debe a la precipitación del sulfato de calcio en agua de mar, aunque también se puede obtener de forma artificial.

El método común para calcinar el yeso consiste en moler el mineral y colocarlo en grandes calcinadores. La temperatura se eleva aproximadamente entre 120° C y 150° C, agitando constantemente para mantener uniforme la temperatura. El material, conocido como *yeso blanco, mate o de parís*, y por el fabricante como *yeso de primera sedimentación*, se puede retirar y vender en esta calidad, o se puede calentar hasta 190° C para producir un material conocido como *yeso de segunda sedimentación*.

El endurecimiento del yeso es esencialmente una reacción química de hidratación, inversa a la correspondiente a la calcinación. El yeso se asienta y endurece debido a que el agua reacciona para formar un hidrato sólido y cristalino. La hidratación tiene lugar a temperaturas inferiores a los 99° C, más o menos, por lo que el yeso se debe calentar a más de 99° C para una deshidratación práctica. El yeso comercial contiene generalmente algo de goma en el agua utilizada, o algún material, ya sea pelos o residuos grasos de los corrales, para retardar el tiempo de fraguado.

El yeso ocupa un lugar aparte en el campo de los conglomerantes en la medida que, contrariamente a la cal o al cemento, se puede emplear sin otro material. Esta particularidad hace del yeso una argamasa para unir ladrillos por sí solo, aunque sea de naturaleza diferente.

El yeso, en general, no es compatible con los cementos y cales. En las mezclas de albañilería no se debe añadir como un conglomerante más, puesto que el material puede reventar en algunas zonas y se corre el riesgo de provocar la aparición de eflorescencias. Por eso, se debe utilizar como conglomerante exclusivo o, a lo sumo, reforzado con una pequeña proporción de cemento o cal para hacerlo más resistente²⁷.

En general el yeso se reserva para los trabajos interiores.

Componente del mortero: Áridos

Los áridos, también llamados “*conglomerados*” o “*granulados*” son materiales naturales masivos procedentes de la fragmentación de las rocas, compuestos por un mineral o la combinación de varios, inertes con el resto de componentes del mortero y que se aglutinan por el cemento o la cal para dar cuerpo al conjunto.

La utilización de los áridos para la fabricación de pastas procede de la antigüedad. Los griegos y los romanos empleaban arena, grava y rocas volcánicas para hacer una variedad de hormigón con el que construían sus edificios, algunos de los cuales hoy perviven, como la cúpula del Panteón de Agripa en Roma. El arquitecto e ingeniero Vitrubio diseñó cisternas para almacenar agua con estos materiales. Algunas calzadas romanas, todavía en uso, se realizaron con rocas trituradas.

En general, los áridos utilizados para la fabricación de morteros deben ser resistentes al hielo y a la abrasión, impermeables y, preferentemente, extraídos de ríos.



Los áridos, en general, no se encuentran con la limpieza y distribución granulométrica adecuadas, por lo que es necesario proceder a su tratamiento.

El tamaño adecuado de los áridos se consigue, bien por un proceso de disgregación natural, o bien por un proceso mecánico, empleando máquinas diseñadas para la aplicación de esfuerzos a las rocas, provocando su fragmentación y, por tanto, su reducción de tamaño²⁸.

Hoy en día, los procesos de fabricación se realizan con modernas máquinas cada vez más especializadas. El material que llega a la planta se procesa con objeto de obtener el producto final especificado, en lo que se refiere a características tales como granulometría, humedad, limpieza, partículas anormalmente ligeras y forma geométrica, pero sin alterar las características físicas y químicas del árido. Esto se consigue por medio de las operaciones sucesivas de alimentación, trituración, transporte, cribado, lavado y almacenamiento.

Los procesos típicos empleados para la obtención de un árido de buena calidad empiezan en la fase de elección de la propia gravera o cantera. En el caso de la cantera, la granulometría y la limpieza del producto terminado están influenciadas por los efectos de las operaciones de perforación, voladura, carga y transporte.

Para definir y corregir la variabilidad en los materiales hay que basarse en un programa de muestreo eficaz. Las muestras se recogen al azar según las normas correspondientes y en varias etapas del proceso de producción. Sin

embargo, el control más cuidadoso del proceso de fabricación de áridos en una planta puede ser anulado debido a unas malas condiciones en la manipulación, almacenamiento, carga o transporte.

La mala manipulación en el proceso de producción del árido puede ocasionar alguna de las principales causas de detrimento de la calidad del producto, como son la segregación, la contaminación o la falta de uniformidad en el contenido de humedad estable.

La segregación de los áridos gruesos se reduce prácticamente al mínimo mediante la separación del material en fracciones de varios tamaños, para posteriormente dosificarlos por separado según el producto. El control eficaz de segregación y de materiales de menor tamaño se logra cuando la proporción de medidas máximas a mínimas se mantiene dentro de unos estándares.

Para evitar la contaminación y degradación de los áridos se deben formar los stocks en horizontal o en capas ligeramente inclinadas, evitando los conos con pendientes excesivas. Es importante prohibir el paso de camiones y demás maquinaria móvil sobre los almacenamientos.

El contenido de humedad estable se debe mantener fundamentalmente en los áridos finos puesto que son los que más humedad acumulan. Depende principalmente de la granulometría, tamaño, forma de la partícula, textura superficial y coeficiente de absorción. Todos los áridos producidos o manipulados por métodos hidráulicos y los áridos lavados se deben almacenar con un drenaje adecuado, durante un tiempo, antes de ser despachados al cliente.

27 Como excepción a lo anterior existe un tipo de revoco de cal y yeso utilizado en Cataluña, que no se ha difundido en otras regiones posiblemente porque se requiere para su aplicación una particular destreza artesanal.

28 En la antigüedad esta operación se hacía manualmente por los esclavos y los presos condenados a picar en las canteras. Se calcula que, a mano, es posible triturar unas 125 toneladas al año.

Las partículas redondas y con buena graduación que han estado en un almacenamiento con drenaje, pueden tener un contenido de humedad estable en 12 horas aproximadamente. Por el contrario, las partículas con mala graduación, planas y angulosas, almacenadas con un mal drenaje, necesitan más tiempo para estabilizar su humedad.

La arena de sílice es el árido usado con mayor frecuencia en la elaboración de morteros.

Se suelen utilizar arenas de río naturales, de machaqueo, o mezcla de ambas. Las primeras proceden del lecho de los ríos y se extraen a cielo abierto; las segundas resultan de la trituración de los restos de piedras naturales. En el caso de emplear arenas de machaqueo, hay que proceder al lavado de las mismas para evitar un alto contenido en finos.

En cualquier caso es imprescindible que la arena esté limpia antes de utilizarla, para obtener una mezcla homogénea y sólida. Cualquier cuerpo extraño como las materias orgánicas, o inclusive la sal cuando se emplea

arena de mar, corrompe la calidad del mortero. En este sentido, se recomienda utilizar arenas normalizadas, cuyo contenido total de materias perjudiciales (mica, yeso, feldespato descompuesto, piritas, etc.) no sea superior al 2%.

En la figura se representa la *curva granulométrica*²⁹ característica de la arena que se suele utilizar para la fabricación de morteros. Esta curva puede presentar ligeras modificaciones, para adaptarse al espesor de los tendeles y a las propiedades del conglomerante. Por ejemplo, la arena debe pasar por un tamiz de apertura no superior a 1/3 del espesor del tendel, ni a 5 mm. Las arenas más gruesas tienen menos vacíos y por ello requieren menos proporción de conglomerante. El contenido de finos se debe limitar para no dificultar la adherencia de la pasta de cemento.

En la fabricación de morteros para albañilería no sólo es importante la granulometría de la arena, sino también la forma de los granos. Las propiedades mejoran si los granos son redondos o poliédricos, evitando las arenas cuyos granos tengan forma de laja o acícula.

La arena puede estar seca, tener humedad natural o estar embebida en agua. Si se acopia a la intemperie, es recomendable colocarla sobre un plástico o una plancha de chapa. A pesar de estas precauciones, la arena se humedece con el simple contacto con el aire, y lo más frecuente es que la que se utiliza contenga humedad natural, por lo que su volumen aumenta. Este fenómeno se llama “*esponjamiento*” y su incidencia se debe tener en cuenta a la hora de establecer la dosificación adecuada de los componentes del mortero.

Componente del mortero: Agua

Se pueden utilizar para el amasado del mortero todas las aguas potables y las sancionadas como aceptables por la experiencia.

No se deben utilizar aguas marinas, debido a que producen eflorescencias en las fábricas.

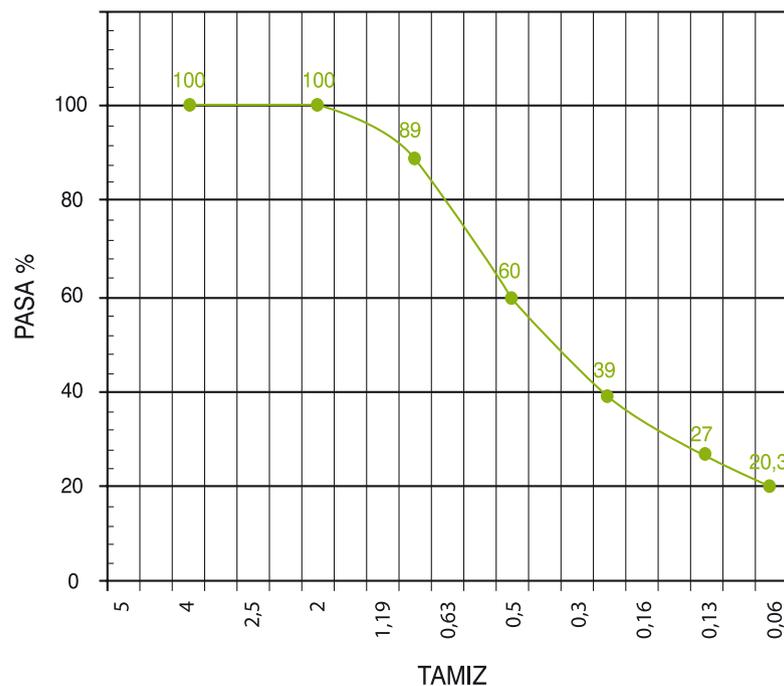
Componente del mortero: Aditivos

Son sustancias o productos que, mezclados con el agua en pequeñas cantidades (por regla general, menores del 5% con relación a la masa del conglomerante) antes de que ésta sea vertida para elaborar el mortero, modifican en estado fresco o endurecido alguna de sus características, propiedades o comportamiento.

Suelen ser productos de síntesis procedentes de la industria química que han tenido una influencia extraordinaria en el desarrollo y campo de aplicación de los morteros.

Los aditivos se clasifican según la norma UNE-EN 934-3:2004/AC:2005 “*Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 3: Aditivos para morteros de albañilería. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado*”, en función de su acción principal, es decir, según la característica que se quiere modificar. Se pueden incorporar en la mezcla uno o varios aditivos, siempre que sean compatibles entre ellos. Los utilizados con mayor frecuencia son los siguientes:

Curva Granulométrica



- Reductores de agua (plastificantes)
- Reductores de agua de alta actividad (superplastificantes)
- Retardadores de fraguado
- Oclusores de aire
- Reductores de permeabilidad (hidrófugos)
- Retenedores de agua

De todos ellos, merecen mención especial los de tipo higrófugo, utilizados para evitar el paso de la humedad. Las mezclas que contengan este tipo de aditivo deben tener como único conglomerante el cemento común, aunque admiten una pequeñísima cantidad de cal hidráulica para hacerlas más adherentes y poderlas trabajar con mayor facilidad.

En los documentos de origen debe figurar la designación del aditivo, según la norma UNE- EN 934-3:2004/AC:2005 “Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 3: Aditivos para morteros de albañilería. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado”, así como la garantía del fabricante de que el aditivo, agregado en las proporciones y condiciones previstas, produce la función principal deseada. En cualquier caso, los aditivos no deben afectar desfavorablemente a la calidad del mortero o de la fábrica, incluido el comportamiento frente al fuego; ni mermar su durabilidad. En particular, no deben favorecer la corrosión de los metales embebidos. En este sentido, cuando se utiliza fábrica armada, se deben evitar los aditivos que contengan cloruro cálcico.

Las normas que regulan los ensayos de aditivos para morteros son las siguientes:

- UNE 83207:2005 “Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación de la pérdida por calcinación a $(1.050 \pm 25)^\circ\text{C}$ ”.
- UNE 83258:2005 “Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Aditivos para morteros de albañilería. Determinación de la consistencia por medio de la mesa de sacudidas”.
- UNE 83259:2005 “Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Aditivos para morteros de albañilería. Determinación del contenido en aire ocluido”.
- UNE-EN 934-6:2002/A1:2006 “Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 6: Toma de muestras, control y evaluación de la conformidad”.

Componente del mortero: Adiciones

Son productos que forman parte del mortero, modificando sus propiedades hidráulicas. Se puede utilizar una sola adición o la combinación de varias.

Las más conocidas son los filleres calizos, los materiales puzolánicos naturales o artificiales, las escorias siderúrgicas y el humo de sílice.

29 Se denomina “*curva granulométrica*” a la cantidad de granos de distintos tamaños expresada en porcentaje con respecto al total de la arena.

Tipos de mortero

Existen numerosas clasificaciones de los morteros, que responden cada una de ellas a criterios diferentes. Así, se pueden clasificar según el procedimiento utilizado para su especificación, según el uso al que vayan a ser destinados, según su proceso de fabricación o según el tipo de conglomerante utilizado.

Según el concepto que se utilice para su especificación (prestación o receta), existen dos tipos de mortero para albañilería:

- **Mortero diseñado:** mortero cuya composición y sistema de fabricación se han elegido por el fabricante con el fin de obtener las propiedades especificadas (concepto de prestación). Debe ser objeto de los correspondientes ensayos de aptitud al uso.
- **Mortero prescrito:** mortero que se fabrica a partir de componentes primarios (conglomerantes y áridos) en unas proporciones determinadas (concepto de receta). Sus propiedades dependen de las características de sus componentes y de su dosificación.

En la fabricación de morteros prescritos sólo se pueden utilizar adiciones y aditivos si forman parte de una receta que figure en el correspondiente anejo nacional o que, en su caso, haya sido fijada por el proyectista. Por otra parte, se ha de tener en cuenta que la diversidad de tradiciones regionales, así como la variedad de ciertos materiales disponibles para fabricar morteros tradicionales, no permiten establecer composiciones exactas de tipo general para los morteros de receta.

En estos casos el fabricante de mortero debe declarar las proporciones (en peso o en volumen) de cada uno de los componentes de la mezcla y la resistencia a compresión, teniendo en cuenta, como referencia, los documentos públicos reconocidos.

Los tipos de mortero para albañilería, definidos por sus propiedades o su campo de aplicación son los siguientes:

- **Mortero para uso corriente o mortero ordinario (G):** es un mortero para utilizarlo en juntas cuyo espesor sea superior a 3 mm y en el que únicamente se utilizan áridos normales.
- **Mortero para juntas y capas finas o mortero de junta delgada (T):** mortero diseñado con un tamaño máximo de árido menor o igual a 2 mm³⁰, para realizar juntas cuyo espesor está comprendido entre 1 mm y 3 mm. Sólo se puede emplear cuando las piezas se rectifican o moldean para este requisito.
- **Mortero ligero (L):** mortero diseñado cuya densidad en estado endurecido y seco es igual o menor de 1300 kg/m³. En este mortero se uti-

liza, por lo general, un árido ligero. Los tipos de mortero para albañilería definidos según el sistema de fabricación son:

- **Mortero industrial:** dosificado, mezclado y, en su caso, amasado en una fábrica y suministrado al lugar de utilización. Puede ser “*mortero seco*” cuando se trata de una mezcla preparada de los componentes primarios (conglomerantes y áridos) que sólo requiere la adición de agua o “*mortero húmedo*” cuando se suministra listo para su empleo.
- **Mortero predosificado:** sus componentes básicos (conglomerantes y áridos) son dosificados independientemente en una fábrica y se suministra al lugar de utilización, en donde se mezclan y amasan en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante³¹.
- **Mortero premezclado de cal y arena:** sus componentes son dosificados y mezclados en una fábrica y se suministra al lugar de utilización, donde se añaden otros componentes especificados o suministrados por el fabricante (por ejemplo, cemento), y se mezclan y amasan en las condiciones definidas por éste.
- **Mortero hecho “in situ”:** formado por los componentes primarios dosificados, mezclados y amasados en la obra.

Según los conglomerantes utilizados en la fabricación, los morteros se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- **Mortero de cal:** es el más antiguo, utilizado por los romanos en sus obras. Se obtiene llenando los huecos de la arena con una pasta formada por cal apagada y agua, en una proporción de un volumen de cal por cada tres de arena. Este tipo de mortero tiene el inconveniente de que endurece demasiado lentamente, por eso en la actualidad se utiliza muy poco.
- **Mortero de cemento:** es el que contiene conglomerantes del tipo de cementos naturales o pórtland en su composición. Se utiliza cuando se precisan altas resistencias iniciales, o bien resistencias elevadas del mortero endurecido. Las mezclas pobres en cemento se hacen ásperas y difíciles de trabajar. Para mejorar la maleabilidad en mezclas pobres se puede añadir a la mezcla ligeras proporciones de limos e, incluso, arcillas, ya que proporcionan rellenos lubricantes a los granos de arena.
- **Mortero bastardo:** se compone de cemento, cal y arena y reúne las ventajas de los dos anteriores; es decir, una buena maleabilidad y altas resistencias iniciales. No se deben utilizar cales hidráulicas debido a que, mezcladas con cemento pórtland, pueden producir expansión. Lo habitual es utilizar cales apagadas en su elaboración.
- **Mortero con aditivos:** en su elaboración se utilizan aditivos que confieren a la mezcla propiedades específicas. Los aditivos más utili-



zados son los aireantes, que introducen aire en el interior de la masa del mortero, aumentando la capacidad de retención de agua y también mejorando la plasticidad, sobre todo en mezclas pobres de cemento; los anticongelantes, retardadores o aceleradores de fraguado; y los hidrófugos.

- **Mortero de cemento de adición:** es un mortero elaborado con cemento pórtland y minerales finamente divididos, siendo éstos potencialmente hidráulicos (puzolanas o escorias) o totalmente inertes (caliza) desde el punto de vista de la propiedad conglomerante. La proporción de adiciones inertes que se puede mezclar no debe ser superior al 35%.

- **Mortero de cemento-cola:** está elaborado con mezcla de cemento y compuestos orgánicos tipo resinas solubles en agua. Se utiliza para las juntas finas. Se suelen dosificar al 50% en peso de arena, y normalmente bajo las instrucciones del fabricante. En su composición se emplean arenas finas, por la baja tensión superficial que presentan. Con este tipo de mortero se debe emplear agua de amasado en pequeña cantidad, con lo que se reduce la humedad en la obra y el tiempo de secado.

Dosificación del mortero

Es fundamental que los componentes del mortero estén proporcionados, es decir, *dosificados*, para que formen una masa plástica, homogénea y de fácil manejo, que no se disgregue.

Durante la etapa de aplicación del mortero, o sea en estado fresco, la pasta formada por el conglomerante y el agua lubrica los puntos de contacto entre las partículas de áridos, facilitando su deslizamiento e impidiendo su separación.

En la etapa de fraguado y endurecimiento final, la pasta conglomerante adhiere no sólo a las partículas de áridos entre sí, sino también a todo el mortero con las piezas o con la superficie del paramento, en el caso de los revocos.

Existen dos maneras de realizar la dosificación del mortero: en volumen, que es la que se emplea en obra; y en peso, que es la que se realiza en las centrales y se utiliza para mezclas muy cuidadas.

Las proporciones en volumen de los diferentes tipos de conglomerantes, áridos y agua que integran un mortero están determinadas por reglas empíricas y por algunos fundamentos teóricos, en función de su uso o lugar de aplicación.³²

Una regla sencilla de dosificación establece que la suma de los volúmenes de los conglomerantes y la suma de los volúmenes de áridos deben estar en proporción no menor de 1:2,25 y no mayor de 1:3.

Atendiendo a las variantes de compactación de los materiales sueltos y a la humedad de los áridos, que puede modificar su volumen hasta casi un 30%³³, los límites de la proporción anterior se puede extender a valores comprendidos entre 1:2 y 1:3,5. Excepcionalmente el tope máximo de esta relación se puede ampliar en los mor-

30 Tamaño máximo del árido cuando la muestra se toma a partir de un lote según la norma *UNE-EN 1015-2* y se ensaya de acuerdo con la norma *UNE-EN 1015-1*.

31 Los componentes básicos de este mortero se presentan, por regla general, en un silo que tiene un compartimento para cada material. Además, puede tener aditivos y adiciones en sus correspondientes depósitos o silos, de aquí que este mortero también se conozca como *“mortero predosificado multisilos o mortero de dos componentes”*.

32 Si el mortero se prepara en obra, no debe tomarse como unidad de medida la *palada* porque el volumen que se recoge con ella varía según el grado de finura del material que se está midiendo.

33 El contenido de agua incide también en su peso unitario: 1 dm³ de arena mojada es menos pesado que 1 dm³ de arena seca. Esta aparente contradicción se debe a que en la arena húmeda el agua forma una película entre los granos separándolos entre sí, de modo que en el mismo volumen hay más cantidad de granos de arena cuando está seca que cuando está húmeda. Dado que el material de los granos es más pesado que el agua, la arena seca es más pesada pues tiene mayor cantidad de granos que la arena húmeda, para un mismo volumen.

teros con cemento de albañilería hasta 1:5 y, en algunos casos, hasta 1:6.³⁴

Otra circunstancia a tener en cuenta es que la arena inmersa en la humedad del mortero tiene menor volumen que cuando estaba acopiada al aire. La razón se debe a que la arena suelta está sin compactar, mientras que en el interior del mortero acomoda sus granos que se deslizan con mayor facilidad dentro de la humedad del mismo, de manera que su volumen se reduce al mínimo.

Respecto a la proporción de conglomerante, lo ideal es que el mortero se comporte del mismo modo y con análogas características mecánicas que el ladrillo que une.

Si la mezcla es muy rica en conglomerante, por encima de los límites de proporción indicados, o sea, con menor volumen de áridos, resulta muy difícil trabajarla en estado fresco, y puede presentar fisuras en estado endurecido debido a la retracción natural de fraguado cuando el conglomerante está demasiado concentrado. Una de las funciones de los áridos es disminuir los efectos de la retracción de fraguado incorporando masa al conjunto.

Si la mezcla es pobre en conglomerante, por debajo de los límites de proporción indicados, o sea, con mayor volumen de áridos, éstos se disgregarán en estado fresco, separándose de la pasta, produciendo un mortero sin resistencia ni adherencia suficientes en estado endurecido.

En la tabla 2.10 se sugieren, a título orientativo, las dosificaciones recomendadas para la elaboración del mortero en función del lugar de aplicación.

En obra, la mejor manera de realizar la dosificación en volumen es por medio de cubos de volumen adecuados a la cantidad de mortero que se desea realizar³⁵. Si se utiliza algún método de compactación del contenido del cubo, por ejemplo, golpeándolo contra el suelo o aplastándolo con la paleta, se debe hacer por igual sobre todos los materiales a dosificar, para evitar una baja calidad de la mezcla.

Si se va a elaborar un mortero bastardo, conviene preparar, al menos 16 horas antes de su utilización, una mezcla de cal viva y arena con la cantidad de agua necesaria para su apagado.

Especificación del mortero

En proyecto, los morteros se pueden especificar con dos criterios diferentes:

- **Especificación por resistencia:** se designan por la letra M seguida de la resistencia a compresión a la edad de 28 días, en N/mm², obtenida sobre probetas prismáticas de 4 cm x 4 cm x 16 cm (por ejemplo, la designación M5 se refiere a un mortero con una resistencia a compresión a los 28 días de 5 N/mm²).

- **Especificación por dosificación:** se designan por la proporción, en volumen, de los componentes fundamentales, comenzando por el cemento al que se le asigna el valor de volumen "1", a continuación la cal, y luego la arena (por ejemplo la designación 1:1:6 se refiere a un mortero de cemento, cal y arena, en el cual de cada ocho partes, una es de cemento, otra es de cal y seis son de arena). La elaboración debe incluir las adiciones, aditivos y cantidad de agua con los que se supone se obtiene el valor de resistencia previsto.



Tabla 2.10 Dosificación recomendada para morteros de albañilería

Lugar de aplicación	Dosificación	Componentes del mortero				Relación árido / conglom.	
		Cemento		Cal			Arena
		Normal	Albañilería	Hidráulica	Aérea		
Cimientos de ladrillo común	1 : 1/2 : 4	1		1/2		4	2,67
	1 : 1/4 : 3 1/2	1		1/4		3 1/2	2,80
	1 : 1/8 : 4 1/2		1	1/8		4 1/2	4,00
	1 : 1/16 : 4 1/2		1		1/16	4 1/2	4,24
Muros de sótanos espesor ≥ 0,30 m	1 : 1/4 : 3	1		1/4		3	2,40
	1 : 1/4 : 3 1/2	1		1/4		3 1/2	2,80
	1 : 1/8 : 5		1	1/8		5	4,44
Muros de sótanos espesor 0,15 m	1 : 1/4 : 3	1		1/4		3	2,40
	1 : 1/4 : 3 1/2	1		1/4		3 1/2	2,80
	1 : 1/8 : 4 1/2		1	1/8		4 1/2	4,00
Dados de apoyo	1 : 3	1				3	3,00
	1 : 3 1/2	1				3 1/2	3,50
Fábrica armada	1 : 3	1				3	3,00
Dinteles armados	1 : 3	1				3	3,00
Muros de ladrillo en general espesor ≥ 0,30 m	1/8 : 1 : 3 1/2	1/8		1		3 1/2	3,11
	1/4 : 1 : 4	1/4		1		4	3,20
	1 : 4 1/2		1			4 1/2	4,50
	1 : 1/8 : 5		1	1/8		5	4,44
Muros de ladrillo en general espesor ≤ 0,20 m	1/8 : 1 : 3	1/8		1		3	2,67
	1/8 : 1 : 1/16 : 5	1/8	1	1/16		5	4,21
	1/8 : 1 : 5	1/8	1			5	4,44
Machones de ladrillo	1/4 : 1 : 3	1/4		1		3	2,40
	1/4 : 1 : 5	1/4	1			5	4,00
Arcos y bóvedas	1/2 : 1 : 3 1/2	1/2		1		3 1/2	2,33
	1/2 : 1 : 6	1/2	1			6	4,00
	1/2 : 1 : 1/8 : 6 1/2	1/2	1	1/8		6 1/2	4,00
Apoyos de arcos y bóvedas	1 : 1 : 5	1		1		5	2,50
	1/2 : 1 : 5 1/2	1/2	1			5 1/2	3,67
Muros mixtos de ladrillo y piedra	1 : 1 : 5	1		1		1	2,50

34 Resulta fácil comprender que cuando se dosifica en volumen hay gran diferencia entre medir las proporciones de las mezclas con los áridos secos, con la humedad natural o con los áridos embebidos en agua. Un 3% en peso de humedad natural en la arena supone un esponjamiento en volumen de un 29%. El porcentaje de humedad en peso de una arena embebida en agua es del 15% y ello supone un aumento de volumen de un 17%. Esto impone la necesidad de permitir una cierta tolerancia en el cumplimiento exacto de las proporciones prescritas en una determinada dosificación. Basándose en su experiencia, los operarios adaptarán las proporciones por medio del colmado o no de los recipientes o modificando ligeramente la dosificación.

35 Conviene utilizar dos cubos, uno para la medición del cemento y otro para la arena. Los cubos deben ser de material resistente a la abrasión e inatacable por el cemento o la cal.

La relación entre la resistencia mecánica y tipo de los morteros de albañilería y la dosificación en volumen de sus componentes se indica en la tabla 2.11.

El tipo de mortero más habitual para fábricas de ladrillo es el de clase M5, tipo b, cuya dosificación es 1:1:7, es decir, una parte de cemento, una parte de cal y siete partes de arena.

Características del mortero

Características del mortero en estado fresco

El mortero fresco para albañilería es un mortero completamente amasado y listo para su empleo. Las propiedades y

características que se le exigen dependen del uso al que vaya a ser destinado.

La norma UNE-EN 998-2:2004 “Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería” establece los requisitos para los morteros hechos en fábrica (*morteros industriales*) utilizados para trabazón y rejuntado en muros, pilares y tabiques de albañilería, estructural o no, destinados a la edificación y a la ingeniería civil.

En relación a los morteros frescos, la citada norma define las prestaciones y propiedades que debe declarar el fabricante relativas a los aspectos que se indican a continuación. Los valores declarados pueden ser contrastados mediante los ensayos correspondien-

tes según las normas que se indican en cada caso.

• Mortero fresco: Trabajabilidad

Es la propiedad que determina la facilidad de la puesta en obra del mortero fresco y el tiempo de utilización sin necesidad de tener que añadirle agua. También se conoce como *plasticidad*.

Un mortero de elevada plasticidad se puede extender fácilmente sobre las piezas, a la vez que resiste su peso durante la colocación, posibilita su alineamiento al adherirse a la superficie vertical y puede salir fuera de las juntas con facilidad al aplicar presión sobre las piezas.

La plasticidad depende de la consistencia de la mezcla, de la granulometría de la arena utilizada y de la cantidad de finos. Se puede mejorar con el empleo de aditivos plastificantes y oclusores de aire. También mejora si se utiliza una determinada proporción de cal en la mezcla, ya que aumenta el número de finos, actuando como lubricante, sin perjudicar sensiblemente su resistencia.

El tiempo práctico de utilización del mortero lo debe declarar el fabricante. El procedimiento de verificación de esta propiedad está definido en la norma 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”. La duración del tiempo de utilización obtenida del ensayo no debe ser menor que el valor declarado por el fabricante.

Tabla 2.11 Dosificación de los morteros en función de su clase y tipo

Tipo de mortero	Resistencia característica (N/mm ²)	Proporción cemento	Proporción cal aérea	Proporción cal hidráulica	Proporción arena
M2,5					
a	2,5	1	-	-	8
b		1	2	-	10
c		-	-	1	3
M5					
a	5,0	1	-	-	6
b		1	1	-	7
M7,5					
a	7,5	1	-	-	4
b		1	1/2	-	4
M10					
a	10	1	-	-	4
b		1	1/2	-	4
M15					
a	15	1	-	-	3
b		1	1/4	-	3



- **Mortero fresco:**
Contenido en iones cloruro

Esta propiedad es fundamental si el mortero se va a utilizar en fábrica armada, debido a que los iones cloruro, procedentes de sales solubles en agua, pueden influir en la corrosión de las armaduras.

El contenido de iones cloruro solubles en agua, determinado a partir del mortero tal como se suministra, o calculado a partir del contenido en iones cloruro de sus componentes, no debe ser mayor que el valor declarado por el fabricante y, en cualquier caso, no debe exceder de 0,1% con relación a la masa del mortero seco.

El método de ensayo está regulado por la norma 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”.

- **Mortero fresco: Contenido en aire**

El aire ocluido en un mortero se produce por efectos mecánicos o por medio de un aditivo aireante que se incorpora en la masa para hacerlo más manejable.

A medida que aumenta el contenido de aire, aumenta la maleabilidad y la resistencia a los ciclos hielo-deshielo; como contrapartida, disminuye la resistencia, la adherencia y la impermeabilidad.

El contenido en aire de los morteros frescos se determina por medio del procedimiento objeto de la norma UNE-EN 1015-7:1999 “Métodos de en-

sayo de los morteros para albañilería. Parte 7: Determinación del contenido en aire del mortero fresco”.

El contenido en aire de un mortero fresco debe estar comprendido dentro del intervalo de valores declarado por el fabricante. Según la *Instrucción RC-08*, para las clases de mortero de albañilería comprendidas entre M5 y M12,5 el contenido en aire debe estar comprendido entre el 8% y el 22% en volumen.

En el caso de morteros para albañilería en los que se han utilizado áridos porosos, el contenido en aire se puede determinar, como método alternativo, a partir de la densidad aparente del mortero fresco, calculada según la norma 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”.

- **Mortero fresco: Consistencia**

Esta propiedad del mortero fresco constituye un índice aproximado de la proporción de los componentes y, sobre todo, de la cantidad de agua y finos utilizados en la mezcla³⁶.

La consistencia de los morteros frescos hechos con conglomerantes minerales y áridos normales y ligeros se determina por medio de la mesa de sacudidas, cuyo procedimiento es objeto de la norma UNE-EN 1015-3:2000/A1:2005/A2:2007 “Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas)”. La consistencia se expresa por el escurrimiento experimentado por la probeta de mortero ensayada, definido por el

36 En el argot utilizado en la construcción se dice que un buen mortero, en lo que se refiere a su consistencia es el que “cuelga de la paleta”.

37 Una consistencia plástica corresponde a obtener un diámetro de la probeta ensayada en la mesa de sacudidas de valor comprendido entre 140 mm y 200 mm.

38 Según este criterio, la *consistencia normal* de un mortero para albañilería, según la *Instrucción RC-08*, es aquella a la que le corresponde un valor de penetración del pistón de 35 ± 3 mm.

valor medio del diámetro en mm.³⁷

Existe una correlación entre la consistencia de un mortero y la densidad aparente en estado fresco. Si no se especifica la consistencia, se debe utilizar el nivel definido para los diversos tipos de mortero en función de la densidad aparente del mortero fresco, según la tabla 2.12.

En la norma 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” se incluye la denominación de los morteros en función de su escurrimiento, determinado por la mesa de sacudidas.

Existe un procedimiento alternativo para determinar la consistencia de un mortero fresco regulado por la norma 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)”.³⁸

- **Mortero fresco: Retención de agua**

Es la capacidad de conservar el agua de amasado que posee el mortero ante las condiciones externas (atmosféricas, absorción de las piezas, etc.).

Esta propiedad también está relacionada con la facilidad de aplicación del mortero. Una adecuada retención permite mantener la plasticidad de la pasta para que las piezas puedan ser colocadas y niveladas, lo que se relaciona directamente con su *trabajabilidad*. Además la capacidad de retención permite controlar la exudación

producida por el diferente peso específico de los componentes del mortero. La exudación ocasiona asentamientos por sedimentación del mortero que genera efectos contraproducentes en la película superior del tendel, mermando la resistencia a la adhesión.

La capacidad de retención de agua es especialmente importante cuando el mortero está en contacto con ladrillos o bases de alta absorción. Una pérdida significativa de dicha agua se traduce en una insuficiente hidratación del conglomerante (fenómeno conocido como “*afogado*”) que puede inhibir

el efecto aglutinante del mortero. Un mortero con una elevada capacidad de retención de agua en estado fresco puede almacenar la humedad que absorbe de la superficie en donde se aplica, habitualmente muy porosa.

La capacidad de retención de agua es necesaria en función del grado de succión de las piezas utilizadas, aunque también influyen las condiciones meteorológicas del momento en el que se aplica el mortero. Si la retención de agua es baja y el ambiente lo propicia, el material puede rezumar humedad alterando sus propiedades. Al contacto con las piezas, el agua asciende hacia la parte superior del tendel y hacia los poros de las piezas formando conductos capilares en el mortero que debilitan la resistencia de la junta. Simultáneamente los áridos descienden generando intersticios bajo la pieza superior, además de mermar la resistencia por el aumento de la relación agua / cemento en la interfase superior de la junta. De este modo, el conjunto de llagas y tendeles adquiere una estructura porosa que provoca baja resistencia y compromete la durabilidad.

Según la *Instrucción RC-08*, la retención de agua del mortero fresco de albañilería debe ser igual o superior al 80% para las clases comprendidas entre M5 y M12,5; y al 75% para las clases superiores. Esta característica se debe medir sobre muestras de pasta de consistencia normal.

Para aumentar la capacidad de retención de agua de un mortero resulta clave reducir el tamaño de sus poros. En este sentido es favorable la existencia de finos en la granulometría del árido. Además, para un volumen dado, la pre-

Tabla 2.12. Nivel definido de consistencia en función de la densidad aparente del mortero fresco

Densidad aparente del mortero fresco (kg/m ³)	Consistencia Valor del escurrimiento (mm)
> 1200	175 ± 10
> 600 a ≤ 1200	160 ± 10
>300 a ≤ 1200	140 ± 10
< 300	120 ± 10

*Fuente: Norma UNE-EN 1015-3:2000/A1:2005/A2:2007 “*Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas)*”.

Tabla 2.13. Clasificación y denominación del mortero fresco en función del escurrimiento

Mortero	Valor del escurrimiento (mm)
Seco	< 140
Plástico	140 a 120
Fluido	> 200

*Fuente: Norma 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*”.



sencia de partículas finas implica mayor superficie envolvente por donde se absorbe el agua, es decir, mayor retención. Lo mismo sucede con el tamaño de las partículas del conglomerante.

También se puede incrementar esta propiedad con el uso de cales, que en general tienen una mayor capacidad de retención de agua que los cementos, con el uso de adiciones finas como cenizas volantes o puzolanas, y también incorporando en la mezcla aditivos específicos como oclusores de aire o plastificantes, en mayor o menor medida, según las condiciones de la puesta en obra. El aumento del tiempo de amasado también incrementa esta propiedad.

La práctica de humedecer adecuadamente las piezas cerámicas antes de su colocación ayuda a controlar en buena medida la capacidad de retención de agua del mortero. Es habitual humedecer las piezas instantes antes de ser colocadas, lo cual no siempre proporciona las adecuadas condiciones de interacción entre el mortero y los ladrillos. Si queda remanente una película de agua rodeando las piezas, aumenta la proporción agua / cemento del mortero y además se dificulta la succión. Para evitarlo es preferible saturar las piezas con antelación suficiente a su puesta y colocarlas una vez que sus paredes hayan adquirido la posibilidad de succión.

En otro extremo, si la fábrica se ejecuta con piezas de baja succión es desaconsejable el humedecimiento previo de las mismas así como una retención de agua elevada, puesto que se resentiría la interacción adecuada entre los materiales y las piezas casi flotarían sobre el mortero.

En la tabla 2.14 se resumen las prescripciones que deben cumplir, con carácter general según la *Instrucción RC-08*, tanto el mortero fresco como el cemento de albañilería, relativas al contenido de aire y a la capacidad de retención de agua, en función del tipo y clase de resistencia, obtenidas a partir de muestras tomadas de una pasta de consistencia normal.

Segregación

Es el fenómeno que consiste en la separación de los ingredientes del mortero. Se controla evitando el agua en exceso de la mezcla y utilizando arenas con tamaños no muy grandes.

- *Mortero fresco: Adherencia*

Es la propiedad que mide la resistencia del mortero fresco a deslizarse sobre la superficie del soporte en el que se aplica.

Se mejora aumentando el porcentaje de cemento respecto al de cal y utilizando finos arcillosos en la arena.



Tabla 2.14 Prescripciones para el mortero fresco

Tipo y clase de resistencia	Contenido de aire UNE-EN 413-2 (% en volumen)		Retención de agua UNE-EN 413-2 (% en masa)
MC 5	≥ 8	≤ 22	≥ 80
MC 12,5			
MC 12,5 X		---	≥ 75
MC 22,5 X			

*Fuente: "Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08)". Tabla A1.5.3b.

Características del mortero en estado endurecido

El estado endurecido es el que presentan los morteros una vez se han producido los procesos químicos y físicos del fraguado.

La norma UNE-EN 998-2:2004 “Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería” define, para los morteros endurecidos, las prestaciones de las características relacionadas con la resistencia a compresión, con la resistencia de unión (adhesión) y con la densidad aparente.

• Mortero endurecido: Resistencia a compresión

La resistencia a compresión es generalmente el parámetro más utilizado para identificar y prescribir un mortero. La razón se debe a que es una de las propiedades que se determina con mayor facilidad y, además, de ella se pueden deducir otras características.

En la resistencia mecánica del mortero inciden numerosas variables. Las fundamentales son el contenido y la categoría del cemento, el contenido de agua y, sobre todo, la relación agua / cemento.

La resistencia mecánica a compresión del mortero para albañilería se determi-

na a la edad de 28 días sobre probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm, confeccionadas, curadas y conservadas de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma 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 valor expresado en N/mm² constituye uno de los parámetros que se puede utilizar para la especificación de los morteros.

Para los morteros de albañilería diseñados, el fabricante debe declarar la resistencia a compresión, siempre que el contenido en cal aérea del mortero, calculado como hidróxido de calcio Ca (OH)₂, sea igual o mayor del 50%, en masa, con relación a la cantidad total del conglomerante.

En otro caso, puede declarar la clase de mortero de acuerdo con la tabla 2.15, en donde dicha resistencia a compresión, cuyo valor se debe superar, se designa en megapascalas (N/mm²), precedido de la letra “M”.

El DB SE-F, cuando se refiere al tipo de mortero ordinario especificado por resistencia, utilizado para la construcción de fábricas con requisitos estructurales, incluye la siguiente serie: M5; M7,5; M10 y M15.

• Mortero endurecido: Resistencia de unión (adhesión)

Esta propiedad se podría definir como la resistencia al despegue. Está directamente relacionada con la resistencia a tracción y a cortante del mortero, las características de las piezas o del material del soporte, el contenido de humedad y la calidad de su puesta en obra. Una buena adhesión produce mayor resistencia global de la fábrica y una mayor impermeabilidad.

El proceso de la unión mecánica entre el mortero y las piezas de albañilería, que garantiza el monolitismo de la fábrica, se desarrolla en tres fases.

En primer lugar se produce la succión del agua desde el mortero a las piezas colocadas. Esta fase se inicia instantáneamente al contactar ambos materiales y puede durar unos minutos o incluso horas. A continuación se transporta el conglomerante por el agua succionada introduciéndose en los poros de la pieza. El proceso finaliza con la hidratación y cristalización del conglomerante en los poros colmatados produciendo los enlaces químicos entre la pasta y las piezas.

Se puede cuantificar la adhesión como el producto de la tensión adherente entre los materiales y la superficie adherente que resulta de su puesta en contacto.

La tensión adherente máxima que se puede alcanzar en la interfase mortero / pieza depende del enlace químico de los cristales de cemento del mortero en los poros de la pieza. En este parámetro intervienen la cantidad, el grado de penetración y la hidratación del conglomerante en dichos poros.

Tabla 2.15 Designación de los morteros

Clase	M 1	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistencia a compresión (N/mm ²)	1	2,5	5	10	15	20	d ⁽¹⁾

⁽¹⁾ “d” es una resistencia a compresión mayor de 25 N/mm² declarada por el fabricante.

*Fuente: Norma UNE-EN 998-2:2004 “Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería”.



La tensión adherente aumenta cuanto mayor cantidad de cemento sea posible transferir a las piezas y cuanto más adecuado sea el nivel de hidratación que active la acción ligante del cemento. En este sentido se destaca la importancia de paliar el *desechado* del mortero humedeciendo las piezas cerámicas previamente a su puesta en obra.

La superficie adherente está determinada por el área de contacto eficaz entre la pasta y las piezas. Cuanto mayor sea esta superficie mayor es el número de enlaces químicos y, consecuentemente, la adhesión final del conjunto. En la superficie de contacto conseguida entre ambos materiales intervienen las características del mortero y de las piezas, aunque son fundamentales las condiciones de ejecución.

En este sentido, la existencia de perforaciones en la tabla de los ladrillos favorece la penetración de la pasta incrementando la interfase mortero / pieza. Las oquedades deben tener una abertura suficiente para que la pasta del mortero pueda penetrar y bañar las paredes verticales de los orificios. Si las aberturas son pequeñas el mortero no penetra y las puntea.

También incide en esta propiedad la cualidad superficial de las caras de contacto de las piezas con el mortero. Cuanta mayor rugosidad tengan las caras de contacto, mejor respuesta adherente presentará la fábrica ante sollicitaciones de corte.

La resistencia de unión (adhesión) del mortero para albañilería diseñado, destinado a construcciones sometidas a requisitos estructurales, en combina-

ción con elementos de albañilería, la debe declarar el fabricante como “*resistencia inicial a cortante*”, basándose en ensayos según la norma UNE-EN 1052-3:2003/A1:2008 “*Métodos de ensayo para fabricas de albañilería. Parte 3: Determinación de la resistencia inicial a cortante*”; o basándose en los siguientes valores tabulados:

- Resistencia inicial a cortante para los morteros de uso corriente y para los morteros ligeros (L): 0,15 N/mm².
- Resistencia inicial a cortante para los morteros de juntas y capas finas (T): 0,30 N/mm².

En los morteros utilizados para revestimientos las características a considerar relacionadas con este aspecto son la compatibilidad y la capacidad de adhesión con el material de soporte. Su determinación está regulada respectivamente por las normas:

- UNE-EN 1015-21:2003/A1:2007 “*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 1015-12:2000 “*Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros de revoco y enlucidos endurecidos aplicados sobre soportes*”.

³⁹ El conocido fenómeno de la *retracción de fraguado* se puede describir de forma simplificada de la siguiente forma. La evaporación progresiva del agua de amasado y la estructura interna del mortero, que es discontinua por la existencia de poros y capilares, originan la coexistencia de una fase líquida y otra gaseosa. Aparecen entonces tensiones superficiales que causan compresiones sobre las paredes de los intersticios, ocasionando la contracción del mortero. Este proceso está directamente relacionado con el tamaño de los poros existentes. Cuanto más elevado es el contenido de finos y el del conglomerante, mayor es la retracción hidráulica potencialmente alcanzable. Además, al interaccionar el mortero con las piezas de albañilería, puede verse afectado por la absorción de éstas, incrementándose su retracción hidráulica. Este efecto es más acusado cuanto mayor es la velocidad de absorción inicial o *succión* de las piezas en contacto.

• *Mortero endurecido: Estabilidad dimensional*

Los morteros sufren cambios de volumen a lo largo de su vida útil debidos a diferentes causas. Las principales son las debidas a su inherente proceso de consolidación desde el estado fresco al estado endurecido.

Durante las fases de fraguado y endurecimiento el mortero experimenta retracciones plásticas de secado que, junto con las térmicas, derivan en la contracción final del material³⁹.

La parámetros que aumentan la retracción del mortero son: el alto contenido en áridos muy finos, la excesiva cantidad de cemento y agua, los espesores de junta excesivos, la sequedad del ambiente y los cambios de temperatura.

Los cambios de volumen por causas térmicas ocasionan contracciones y dilataciones del mortero cuyo valor absoluto entre las piezas no es significativo. Sin embargo sí puede ocasionar efectos perjudiciales si se considera globalmente el muro o cerramiento ejecutado cuando es de longitud excesiva y no se prevén las adecuadas juntas de movimiento verticales.

Aun así, en fábricas ejecutadas con piezas cerámicas vistas, la retracción del mortero de las juntas no es un fenómeno problemático. En primer lugar, porque el fenómeno opuesto de la expansión por humedad lo contrarresta y, en segundo lugar, porque el volumen que representa el mortero de las juntas es pequeño en comparación con el que representa el mortero aplicado en revestimientos.

- *Mortero endurecido: Absorción de agua*

Los morteros endurecidos son susceptibles de absorber agua por capilaridad. Esta propiedad debe ser declarada por el fabricante cuando estén destinados a ser utilizados en construcciones exteriores. El método de ensayo está regulado por la norma 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*”.

El nivel de saturación que puede alcanzar un mortero, conocido como *valor crítico de saturación de agua* es función del sistema y naturaleza de poros (abiertos, cerrados, intercomunicados, capilares, etc.) de los que depende la facilidad con la que el agua puede acceder al material.

En la porosidad del mortero influye extraordinariamente el tipo de conglomerante utilizado (cemento con o sin adiciones, cales, etc.), la cantidad de agua empleada, el grado de hidratación, el sistema de preparación y la edad del mortero.

- *Mortero endurecido: Permeabilidad al vapor de agua*

Esta característica está relacionada con el comportamiento higrotérmico de los muros de cerramiento.

Los morteros destinados a ser utilizados en construcciones exteriores deben ser impermeables a la humedad en estado líquido, pero deben permitir el paso del vapor de agua, para evitar procesos patológicos provocados por humedades de condensación. La aportación de cal hidratada al mortero mejora sustancialmente la permeabilidad al vapor de agua sin mermar la estanquidad al agua en estado líquido.

El método de ensayo para morteros utilizados como revestimiento de muros se regula por la norma 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*”.

Los valores tabulados del coeficiente de difusión del vapor de agua del mortero están incluidos en la norma UNE-EN 1745:2000 “*Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar los valores térmicos de proyecto*”. Se precisan para realizar el estudio higrotérmico de los cerramientos.

- *Densidad (del mortero endurecido en estado seco)*

Esta característica es función de la composición del mortero y del tipo de árido utilizado en su fabricación. Se determina mediante ensayos regulados por la norma 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*”.

La densidad del mortero endurecido debe estar comprendida dentro del intervalo declarado por el fabricante. Se prescribe el valor máximo de la densidad del mortero para albañilería ligero (L) en estado endurecido seco al valor de 1.300 kg/m³.

- *Mortero endurecido: Conductividad térmica*

Esta característica debe ser declarada por el fabricante, así como los fundamentos en los que se basa para su declaración, cuando el mortero para albañilería se vaya a utilizar en construcciones sometidas a requisitos térmicos.

El fabricante debe declarar los valores de cálculo de la conductividad térmica del mortero para albañilería de acuerdo con la norma UNE-EN 1745:2002 “*Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar los valores térmicos de proyecto*”.

La conductividad térmica del mortero influye en el estudio del comportamiento higrotérmico de los cerramientos de fachada y debe ser inferior al valor declarado.



- *Mortero endurecido: Durabilidad*

Además de las propiedades indicadas, los morteros deben tener una estabilidad adecuada capaz de resistir las condiciones del medio en donde se vayan a encontrar, de modo que mantengan su integridad estructural y su apariencia externa al menos durante el periodo de vida útil previsto; y que su duración persista teniendo en cuenta las condiciones de exposición local, climáticas y de mantenimiento.

Las medidas encaminadas a asegurar la durabilidad del mortero deben considerar no sólo la composición, propiedades y comportamiento del material, sino también la clase de exposición a la que estará sometido el elemento de fábrica en el que se incorpora.

La clase de exposición determina la agresividad del medio en el que se debe mantener el elemento sin menoscabo de sus propiedades. El DB SE-F, en el artículo 3.1 “Clase de exposición” diferencia dos tipos: clase de exposición general y clase de exposición específica. Para caracterizar estas clases se consideran cuestiones relativas al entorno (orientación, salinidad del medio, ataque químico, etc.) pero también, en particular, importa la severidad de la exposición local a la humedad, es decir, la situación del elemento en el edificio y el efecto de ciertas soluciones constructivas, tales como la protección que pueden ofrecer los aleros, cornisas y albardillas.

Se indican a continuación los factores más significativos relacionados con la durabilidad del mortero o de las fábricas en las que se incorpora.

- *Mortero endurecido: Heladicidad*

Se conoce como “heladicidad” el cuadro característico de rotura final de un material provocado por la intermitencia de la formación de hielo y deshielo.

Los efectos de las heladas en el mortero dependen de la cantidad de agua que puede penetrar o “valor crítico de saturación de agua”. Este parámetro está directamente relacionado con la estructura de poros que existe en el material, si son abiertos, cerrados o intercomunicados, ya que la propia estructura del sistema de poros puede facilitar o dificultar la entrada de agua al interior.

La estructura porosa del mortero depende del conglomerante y aditivos, de la relación agua / cemento, del grado de hidratación, del sistema de preparación y de la edad del mortero.

Se consigue una buena resistencia a las heladas con una adecuada capacidad de acomodación para evitar grietas de retracción, realizando morteros compactos, utilizando aditivos específicos, y mediante un adecuado proceso de ejecución.

En la actualidad no existe una norma europea que regule los métodos de ensayo relacionados con la durabilidad, por lo que no se han incorporado requisitos a este respecto. No obstante, la aptitud de empleo de un mortero para albañilería en medios agresivos se puede basar en los resultados de ensayos realizados por un laboratorio cualificado o en la propia experiencia del fabricante.

- *Mortero endurecido: Acción de iones sulfato*

Los iones sulfato, procedentes de sales solubles en agua o derivados de reacciones de transformación del anhídrido sulfuroso presente en determinadas atmósferas industriales y urbanas, pueden reaccionar con los aluminatos de calcio hidratados del clínker del cemento o de las cales hidráulicas, provocando la formación de un compuesto expansivo conocido con el nombre de *ettringita* que altera la estabilidad dimensional de los morteros. La formación de la *ettringita* no es inmediata y requiere una cantidad suficiente de aluminatos y sulfatos solubles, así como la variación del grado de humedad.

Otro efecto perjudicial de los sulfatos solubles es la posibilidad de formar disoluciones saturadas y sobresaturadas en los poros del mortero, en donde pueden cristalizar como sales con gran cantidad de agua, provocando un aumento de volumen y, por tanto, una presión sobre las paredes de los poros, que da lugar a las correspondientes fisuras y, por consiguiente, a un incremento de las posibilidades de deterioro del mortero por la acción de agentes externos.

Se previene una posible reacción con los iones sulfato prescribiendo cementos resistentes a éstos (SR) con bajo contenido en aluminato de calcio.



- *Acción de iones cloruro*

Los iones cloruro sólo afectan a los morteros que incluyen en su interior llaves, armaduras o mallas de acero, introducidas como refuerzo en fábricas armadas. Los iones cloruro procedentes de las sales solubles en agua pueden provocar la corrosión de las armaduras dispuestas en el seno del mortero.

Se previene este efecto limitando el contenido de iones cloruro a un máximo de 0,1% de la masa del cemento empleado.

- *Mortero endurecido: Reacción frente al fuego*

Los elementos de albañilería no combustibles que contengan como máximo un 1,0% (en masa o en volumen, según el valor más crítico) de materiales orgánicos distribuidos homogéneamente, se clasifican como clase A1 de la reacción frente al fuego sin tener que hacer ensayos (según la decisión de la Comisión 96/603/CE y sus modificaciones).

En el resto de los casos, es decir, los morteros para albañilería que contengan una fracción mayor del 1,0% de materiales orgánicos, se deben clasificar de acuerdo con la norma UNE-EN 13501-1:2007 “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”, y declarar la clase apropiada de la reacción al fuego.

- *Características de los morteros de junta delgada*

Los morteros para juntas y capas finas deben satisfacer los requisitos descritos en apartados anteriores con carácter general para cualquier mortero de albañilería y, además, los requisitos adicionales que se indican a continuación.

- *Tamaño máximo del árido*

El tamaño máximo de los áridos en los morteros de junta fina no debe ser mayor que 2mm, según ensayos realizados de acuerdo con la norma UNE-EN 1015-1:1999/A1:2007 “Método de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 1: Determinación de la distribución granulométrica (por tamizado)”.

- *Tiempo abierto o tiempo de corrección*

Es el período de tiempo durante el cual puede el albañil modificar la posición de una pieza sin perturbar la adherencia.

Esta característica la debe declarar el fabricante sólo en el caso de morteros para juntas y capas finas. El ensayo se realiza según la norma 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”. El valor no debe ser superior a 5 minutos en cualquier caso.



2.2 Componentes auxiliares de las fábricas

Los componentes auxiliares se utilizan en la construcción de fábricas para mejorar sus condiciones mecánicas, funcionales y, en ocasiones, su aspecto.

Se pueden clasificar en tres grandes grupos, atendiendo a la misión que tienen encomendada: revestimientos y barreras, armaduras y dispositivos de anclaje.

Los revestimientos y barreras son elementos yuxtapuestos que protegen los muros ante las agresiones exteriores, fundamentalmente climáticas. Algunos de ellos tienen además la función de configurar la apariencia que la fábrica presenta al exterior.

Las armaduras son barras o mallas de acero protegido, que se incorporan en el interior de la masa del muro, modificando sustancialmente las características del material, sobre todo las relacionadas con el comportamiento mecánico y resistente, haciéndole apto para resistir esfuerzos estructurales de tracción, que no son resistidos, en general, por los materiales pétreos.

Por último, los dispositivos de anclaje y conexión son elementos que tienen la función de transmitir a la estructura portante del edificio, con carácter selectivo, los esfuerzos resistidos por la fábrica, o de transmitir esfuerzos de un muro a otros a través de determinados tipos de juntas.

Los revestimientos y barreras son objeto de dimensionado atendiendo al ni-

vel del requisito de protección (térmica, acústica, contra el fuego, etc.) que se desee conseguir. Sin embargo, aunque algunos de ellos, como los enfoscados y revocos, indudablemente modifican y mejoran el comportamiento mecánico de las fábricas, no se les suele asignar ninguna función resistente, debido a que no están establecidos los modelos precisos para incorporar su contribución en el análisis estructural.

Por el contrario, tanto las armaduras incorporadas en la masa del muro, como los dispositivos de anclaje y conexión, deben ser objeto de dimensionado, atendiendo a la función resistente que tengan encomendada. Deben, además, disponer de la protección adecuada para el nivel de exposición correspondiente a la fábrica en la que se incorporan.

2.2.1 Componentes auxiliares de las fábricas: Revestimientos y barreras

Los revestimientos protegen las fábricas contra la acción de los agentes atmosféricos y configuran su aspecto exterior. En las fábricas de ladrillo cara vista el aspecto exterior lo constituye el propio acabado de las piezas.

Las barreras impiden o dificultan el paso de la humedad o del flujo calorífico o acústico, y quedan ocultas al exterior. Se deben incorporar tanto en las fábricas revestidas como en las que vayan a quedar vistas.

Se indica a continuación las barreras utilizadas con mayor frecuencia en los cerramientos.

- *Barreras antihumedad*

Son elementos yuxtapuestos al muro para impedir el paso del agua de escorrentía o capilaridad.

Están formadas por materiales bituminosos (láminas o morteros, placas asfálticas, betunes, alquitranes, breas, pinturas al clorocaucho, etc.), o por láminas textiles de diversos plásticos. También existen sistemas de impermeabilización in situ a base de emulsiones de caucho. Las barreras más utilizadas son las láminas impermeables (bituminosas, de caucho, de plástico, de polietileno, etc.) y los recubrimientos a partir de morteros hidrófugos. Algunos materiales utilizados para aislamiento térmico pueden constituir también una barrera antihumedad, si tienen un coeficiente de absorción de valor reducido.

Las láminas impermeables horizontales en los muros deben permitir la transmisión de cargas sin sufrir ni causar daños, y deben tener suficiente resistencia superficial de rozamiento para evitar el movimiento de la fábrica que descansa sobre ellas. No son recomendables los materiales que pueden rebosar del muro por aplastamiento.

Se deben utilizar siempre en aquellos puntos de la fábrica susceptibles al paso de agua: en el arranque, en los encuentros con el forjado, en los dinteles, en las jambas, en los antepechos y en los demás puntos singulares de la fachada; así como en el interior de las jardineras y en los muros de contención.

- *Aislantes térmicos*

Un material aislante, desde el punto de vista térmico, es aquel que posee la propiedad de reducir el flujo de calor que pasa a través del mismo. Los materiales que se usan en construcción con propiedades aislantes pueden ser orgánicos de origen natural (corcho, fibra de celulosa, cáñamo, coco, lino, paja, caucho o cera), orgánicos sintéticos (láminas plásticas rígidas, semirígidas o flexibles, espumas aislantes) o inorgánicos (lana de roca, fibra de vidrio, perlita, vermiculita, etc.).

Habitualmente se emplean como aislantes térmicos los materiales inorgánicos compuestos por fibra de vidrio o lana de roca, y los orgánicos sintéticos a base de espumas de poliuretano y planchas rígidas de poliestireno expandido o extruido⁴⁰.

El poliestireno expandido es un material plástico y rígido, con estructura celular cerrada y rellena de aire, fabricado a partir del moldeo de perlas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros. Se presenta en planchas de color blanco y es un aislante ade-

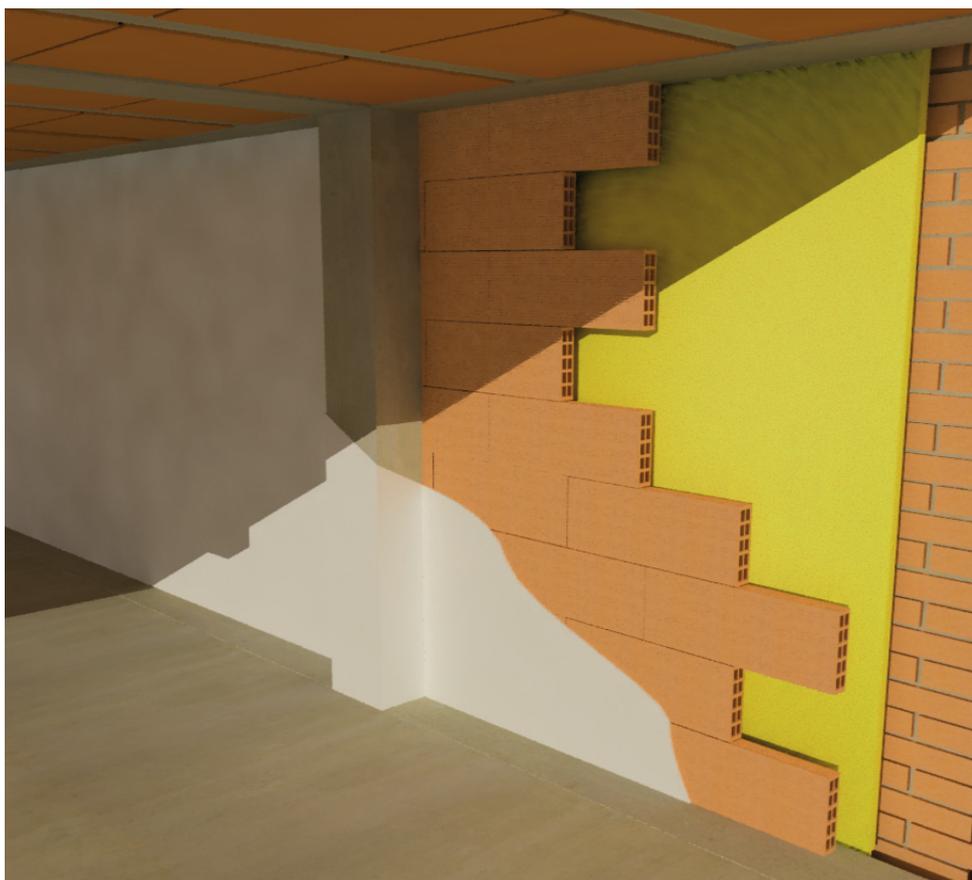
cuado para fachadas. Presenta unos niveles mínimos de absorción, que oscilan entre el 1% y el 3% en volumen, incluso sumergiendo el material completamente en agua. La estabilidad dimensional se sitúa en valores que oscilan entre 0,05 y 0,07 mm/metro de longitud y grado Kelvin.

El poliestireno extruido es una espuma plástica producida a partir de la extrusión de una mezcla fluida de poliestireno y un gas espumante. Se presenta en paneles rígidos, con estructura celular cerrada. Sus propiedades son altamente aislantes, con valores de conductividad térmica muy bajos, comprendidos entre 0,029 W/(m·°K) y 0,036 W/(m·°K). Tiene también valores muy bajos de absorción de agua y prestaciones mecánicas muy elevadas, con resistencias comprendidas entre los 0,2 N/mm² y 0,7 N/mm². Es un material aislante muy adecuado para colocarlo en la cámara de aire de las fachadas.

Los poliuretanos se presentan en espuma que se proyecta sobre las superficies. Si se utiliza este material es necesario consultar con el fabricante la posible casuística que se puede presentar en cuanto a la adherencia del producto al soporte y contar con personal especializado.

Otros tipos de materiales aislantes orgánicos, aunque menos utilizados en la construcción, son la espuma elastomérica, el policloruro de vinilo, el polietileno, la resina fenólica y la urea-formaldeído.

En el caso de utilizar poliuretanos deben estar libres de CFC; y en el caso de utilizar materiales plásticos, deben estar libres de halógenos.



- *Aislamiento acústico*

Un material aislante desde el punto de vista acústico es aquel que tiene la propiedad de amortiguar y modificar el flujo acústico que pasa a través del mismo.

Las barreras acústicas pueden ser frente a ruido aéreo o frente a ruido de impacto. Habitualmente poseen capacidad para funcionar simultáneamente como aislantes térmicos y acústicos y, las que tienen estructura de celdas cerradas, también como barrera anti-humedad.

En general son láminas de polietileno o espuma reticulada, protegidas por una película antidesgarro. También pueden tener estructura de sándwich, formada por varias capas absorbentes y aislantes al ruido, una capa central de plomo, y otras exteriores de material espumado.

- *Láminas de revestimiento de soportes y frentes de forjado*

Son barreras interpuestas entre los elementos estructurales (soportes y frentes de forjado) y los paños de fábrica, cuya función es la desolidarización entre ambos para evitar procesos patológicos derivados de su incompatibilidad mecánica y física.

Suelen ser láminas compuestas de espuma de polietileno reticulado, con un espesor mínimo de 5 mm y diferentes niveles de protección del acabado exterior, para poder ser utilizadas según la agresividad del medio.

Pueden servir simultáneamente como aislamiento térmico, acústico y barreras antihumedad.

- *Materiales de relleno y sellantes*

Los rellenos y sellantes utilizados generalmente en las juntas de movimiento deben ser necesariamente de materiales elásticos.

Para el sellado, especialmente por la cara exterior de la junta, se debe utilizar un material de bajo módulo de elasticidad y polimerización acelerada. Se recomienda una masilla de la clase 25-LM, según la norma UNE 104307:2001 *“Edificación. Sellantes. Clasificación y especificaciones”*. También las siliconas neutras ofrecen un buen comportamiento en cuanto a la adherencia y la elasticidad frente al paso del tiempo.

Para evitar que el sellante se adhiera al relleno o que existan problemas de incompatibilidad entre el relleno y el sellante de una junta, es recomendable disponer un cordón o un elemento de separación entre ambos, por ejemplo de espuma de polímeros expandidos.

- *Pinturas*

En las situaciones excepcionales en las que se desee utilizar pinturas en la fábrica, sólo son recomendables pinturas elásticas que dispongan de una ficha técnica con sus características definidas, y que cumplan las especificaciones de la norma UNE 48244:2007 *“Pinturas y barnices. Recubrimiento en emulsión acuosa para hormigón y albañilería en exteriores”*.

La velocidad de transmisión agua - vapor (permeabilidad) debe ser media o alta, lo cual supone un valor superior a 15 g/(m²·día); y la permeabilidad al agua debe ser baja, lo cual supone un valor inferior a 0,1 kg/(m²·h^{1/2}). Estos parámetros

40 Una cámara de aire se puede considerar que ejerce la función de aislante térmico cuando está sin ventilar o ligeramente ventilada, con una superficie de abertura al exterior menor que 1500 mm² por metro de longitud contado horizontalmente.

se determinan según la norma UNE-EN ISO 7783-2:1999 *“Pinturas y barnices. Materiales de recubrimiento y sistemas de recubrimiento para albañilería exterior y hormigón. Parte 2: Determinación y clasificación de la velocidad de transmisión agua - vapor (permeabilidad)”*.

La relación de contraste no debe ser inferior a 0,98 para el color blanco, o a 0,95 para otros colores.

Para poder cubrir pequeñas fisuras, el alargamiento en rotura tiene que ser superior al 120% y el valor medio de tres determinaciones de adherencia debe ser superior a 1,5 N/mm².

2.2.2 Componentes auxiliares de las fábricas: Armaduras

Son elementos constituidos por barras o alambres de acero, que se incorporan en el interior de la masa del muro, modificando sustancialmente sus propiedades mecánicas, hasta el punto de constituir en determinadas condiciones, junto con las piezas y el mortero, un material compuesto, *la fábrica armada*, esencialmente distinto de la fábrica tradicional.

Las armaduras incluidas en la fábrica tienen dos misiones fundamentales:

- Suministrar capacidad resistente a tracción, flexión y cortadura, posibilitando la utilización de elementos de fábrica como elementos estructurales con mayores prestaciones y dimensiones más esbeltas.
- Garantizar una distribución homogénea de tensiones en el interior de la masa del muro, consiguiendo un material dúctil y evitando los riesgos de fisuración que se derivan de la fragilidad que caracteriza a todos los materiales pétreos.

Las características y especificaciones técnicas de las armaduras prefabricadas para tendeles están reguladas por la norma UNE-EN 845-3:2006 *“Especificación de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 3: Armaduras de junta de tendel de malla de acero”*.

Materiales para armaduras

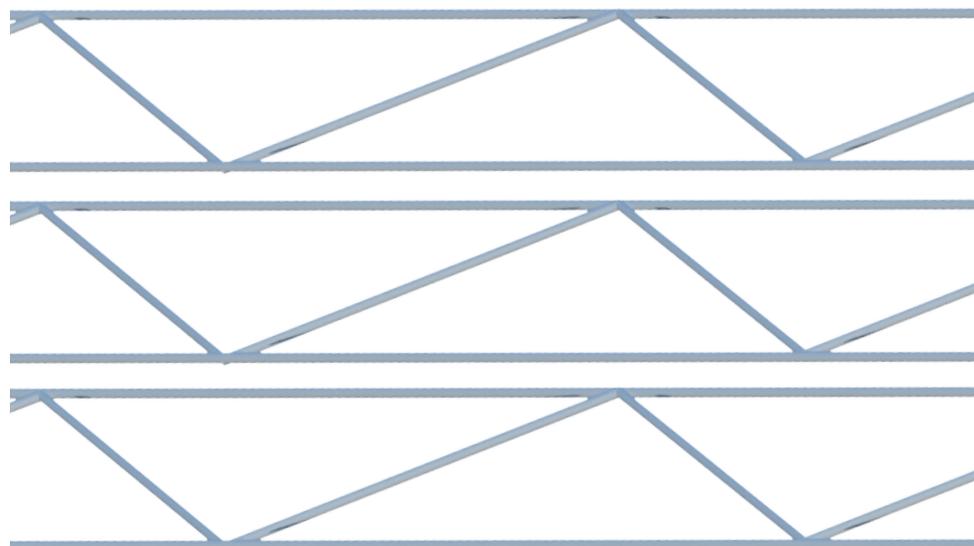
Los materiales para la fabricación de armaduras de tendel son, en general, alambres de acero al carbono o acero inoxidable, con revestimientos de cinc y, a veces, de material orgánico, en distintas cuantías, para conseguir una protección frente a la corrosión adecuada al nivel de exposición en el que van a ser utilizadas.

Según la norma indicada anteriormente, los materiales y sistemas de protección frente a la corrosión con los que se pueden fabricar las armaduras de junta de tendel son los siguientes:

- Acero inoxidable austenítico (UNE-EN 10088-1:2006 *“Aceros inoxidables. Parte 1: Relación de aceros inoxidables”*): aleaciones de níquel, cromo y molibdeno; o sólo de níquel y cromo.

- Alambre de acero (UNE-EN 10020:2001 *“Definición y clasificación de los aceros”*) con revestimiento cincado (UNE-EN 10244-2:2001 *“Alambre de acero y productos de alambre. Recubrimientos metálicos no ferrosos de acero. Parte 2: Recubrimientos de cinc o de aleaciones de cinc”*) posterior a la fabricación: masa mínima de revestimiento de cinc 265 g/m² (protección fuerte); 105 g/m² (protección media) ó 60 g/m² (protección débil).

- Alambre de acero (UNE-EN 10020) con revestimiento cincado (UNE-EN 10244-2) y revestimiento orgánico (UNE-EN 10245-1:2001 *“Alambres de acero y productos de alambre. Recubrimientos orgánicos del alambre. Parte 1: Reglas generales”*): masa mínima de revestimiento de cinc 60 g/m²; y grosor mínimo de revestimiento orgánico 80 µm (valor medio 100 µm).



Tipos de armaduras

La misma norma UNE-EN 845-3:2006 "Especificación de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 3: Armaduras de junta de tendel de malla de acero" establece que las armaduras de tendel para uso estructural deben estar constituidas por una malla de alambres soldado con dos disposiciones posibles:

- Dos alambres longitudinales de tamaño no menor de 3 mm soldados de forma discontinua a los alambres transversales (disposición en *escalera*).
- Dos alambres longitudinales de tamaño no menor de 3 mm soldados a un alambre continuo diagonal (disposición en *cercha*).

La configuración más adecuada para la función estructural de la armadura de tendel es la que corresponde al tipo *cercha*, frente a otros tipos de disposiciones de los alambres, por constituir una malla indeformable en su propio plano, lo que le confiere una mayor capacidad resistente frente a esfuerzos de flexión y cortadura, independientemente de las condiciones del mortero en las que va embutida.

También es preferible que todos los alambres que constituyen la armadura estén soldados en el mismo plano, para garantizar un perfecto recubrimiento de mortero en tendeles de espesores habituales.

2.2.3 Componentes auxiliares de las fábricas: Dispositivos de conexión

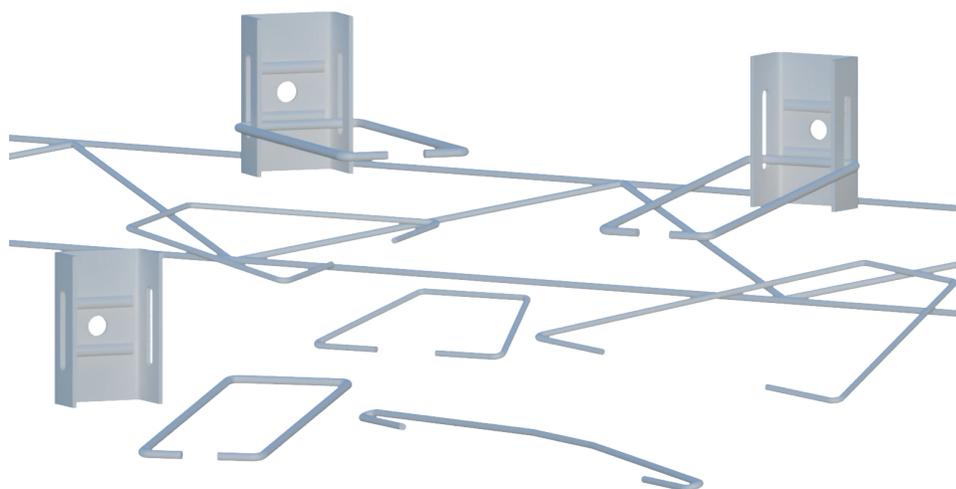
En general, los dispositivos de conexión, anclajes, llaves y fijaciones son elementos auxiliares cuya función es transmitir esfuerzos selectivos de la fábrica a la estructura del edificio o a otra fábrica.

Su función está directamente relacionada con las condiciones de sustentación impuestas a los paños de fábrica, es decir, con su estabilidad. Por consiguiente, son objeto de cálculo y dimensionado, en función del tipo y magnitud de los esfuerzos que deben transmitir. Además, es imprescindible que su configuración geométrica permita reproducir las condiciones de cálculo impuestas a los vínculos de sustentación, de forma que permitan determinados movimientos e impidan otros.

También es imprescindible, debido a su función estructural, que posean la protección adecuada al tipo de exposición correspondiente a la fábrica en la que se ubican. Son elementos que, en la mayoría de las ocasiones, quedan expuestos al ambiente exterior y, sin embargo, en una posición inaccesible para un correcto mantenimiento. Por ello, deben ser de acero inoxidable AISI 304, con un límite elástico igual o superior a 235 N/mm².

Existen dos tipos claramente diferenciados, en función de su misión estructural y de la naturaleza de los esfuerzos que deben transmitir: los anclajes y las llaves de atado en juntas de movimiento.

Las llaves utilizadas en las juntas de movimiento deben tener uno de sus extremos recubierto por una funda de plástico, para evitar su adherencia con el mortero y así permitir el movimiento horizontal en el plano del muro.



Las especificaciones técnicas de los dispositivos de conexión están definidas en la norma UNE-EN 845-1:2000 “Especificación de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 1: Llaves, amarres, colgadores, ménsulas y ángulos”.

2.2.4 Perfiles para dinteles

Se pueden utilizar perfiles metálicos laminados, conformados en frío o soldados, dimensionados de acuerdo con las cargas que vayan a soportar.

El tratamiento o protección de estos perfiles debe ser similar a los de cualquier elemento estructural utilizado en la obra, según la clase de exposición del paño en el que se incorporan.

Las especificaciones de los dinteles prefabricados metálicos se rigen por la norma UNE-EN 845-2:2005 “Especificaciones de componentes auxiliares para fábrica de albañilería. Parte 2: Dinteles”.

Los procedimientos de ensayo de todos los elementos auxiliares para fábricas están regulados por la norma UNE-EN 846 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería”.⁴¹

41 Relación de normas UNE-EN 846 referentes a los procedimientos de ensayo de los elementos auxiliares para fábricas 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 846-3:2001 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 3: Determinación de la resistencia al cizallamiento de las soldaduras en armaduras de tendel prefabricadas”.
- UNE-EN 846-4:2001 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 4: Determinación de las características de capacidad de carga y carga-deformación de los amarres”.
- UNE-EN 846-5:2001 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 5: Determinación de la resistencia a tracción y a compresión y las características de carga-desplazamiento de las llaves (ensayo entre elementos)”.
- UNE-EN 846-6:2001 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 6: Determinación de la resistencia a tracción y a compresión y las características de carga-desplazamiento de las llaves (ensayo sobre un solo extremo)”.
- UNE-EN 846-7:2001 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 7: Determinación de la resistencia al cizallamiento y las características de carga-desplazamiento de llaves conectoras y de deslizamiento (ensayo en una junta de mortero entre dos elementos)”.
- UNE-EN 846-9:2001 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 9: Determinación de la resistencia a flexión y de la resistencia al cizallamiento de los dinteles”.
- UNE-EN 846-10:2001 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 10: Determinación de la resistencia y de las características de carga-deformación de las ménsulas”.
- UNE-EN 846-11:2001 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 11: Determinación de las dimensiones y arqueado de los dinteles”.
- UNE-EN 846-13:2002 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería. Parte 13: Determinación de la resistencia al impacto, abrasión y corrosión de revestimientos orgánicos”.